

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COLORANTES AZOICOS MEDIANTE UN
COAGULANTE OBTENIDO DE RESIDUOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**

**ANGIE XIMENA MEJÍA PERILLA
LUIS ALEJANDRO MORENO BARRIGA**

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

**Director
FELIPE CORREA MAHECHA
Ingeniero Químico**

**Codirectora
DIANA MARCELA CUESTA PARRA
Ingeniera Ambiental**

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

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN



Ing. Angie Tatiana Ortega Ramírez



Ing. Juan Camilo Gómez Caipa

Bogotá D.C, agosto 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigación

Dr. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrectora Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONOSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACIAS RODRÍGUEZ

Decana de la Facultad de Ingenierías

Dr. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director Programa Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado principalmente a Dios y a mis padres por estar incondicionalmente para mí, por su esfuerzo, amor, consejos, paciencia y palabras de aliento en cada una de las traspasadas o madrugadas, de las cuales aprendí lo más valioso que es el conocimiento, lo cual me aportó a mi formación tanto profesional como personal, a mi familia la cual siempre será una base sólida en mi camino y mi motivación para salir adelante, cumplir todos los sueños que me proponga a partir de la culminación de esta carrera que me apasiona. A mi compañero Luisito por embarcarse en esta aventura conmigo, por entrar al semillero y comenzar una investigación que daría los frutos que vemos reflejados, por ser el hombre más pilo que pude conocer desde el inicio de esta carrera y un amigo infaltable con toda paciencia que lo caracteriza.

Angie Ximena Mejía Perilla

Dedico este trabajo de grado inicialmente a Dios y mis padres por su apoyo en cada momento, por su amor, su acompañamiento, su esfuerzo, su guía y consejo en los momentos duros, a mi abuelita Mercedes que siempre me acompaña desde el cielo, y ha sido un apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional, a mis hermanos Rolando, Santiago y Gabriela, por hacerme tan feliz, y sacarme una sonrisa cuando más la necesitaba y a mi familia, mis tías, primos y primas. Igualmente, a mi compañera Angie por seguirme en todas las locuras que nos inventamos, por ser mi apoyo y complemento durante estos años de vida universitaria, admiro en ella su resiliencia y audacia para llevar a cabo cualquier proyecto que tenga en mente. Finalmente le dedico este proyecto a la ciencia desarrollada en Colombia, en mensaje de aliento y perseverancia de un pueblo con grandes capacidades para el desarrollo de la investigación buscando un beneficio para la sociedad, el medio ambiente y su sostenibilidad.

Luis Alejandro Moreno Barriga

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a nuestros padres Blanca y Aldemar; María y Néstor, sin su apoyo nada de esto sería posible, por confiar en nosotros y hacer lo imposible para ejecutar cada logro. Por la educación brindada desde casa que nos hicieron creer en los sueños y nos enseñaron lo capaces que somos para asumir cualquier reto.

Agradecemos a nuestros docentes y directivos de la Fundación Universidad de América por haber compartido sus conocimientos de la mejor manera en cada asignatura que nos preparó para la labor de Ingenieros Químicos, de manera especial a nuestro director Felipe Correa Mahecha, a nuestra codirectora Diana Marcela Cuesta Parra por su asesoramiento en el momento oportuno, a cada uno de ellos por su tiempo, paciencia, apoyo y exponernos tan valioso conocimiento adquirido a lo largo de sus exitosas carreras.

Igualmente agradecemos a la línea de investigación de biotecnología y nanotecnología de tecnoparque SENA nodo Bogotá junto con Ana María Gómez Ortiz, por su apoyo, asesoramiento, y entrega a nuestro proyecto, del mismo modo, extendemos nuestro agradecimiento a la Universidad de América, en representación de la coordinadora de laboratorios Yenny Hernández Prieto por su amabilidad, su grandiosa colaboración y entrega con nosotros los estudiantes que desarrollamos nuestros proyectos de grado en los laboratorios dispuestos por la universidad.

Al señor Santiago Forero por su disposición y colaboración con el préstamo del lugar donde llevamos a cabo nuestras reuniones y el desarrollo del documento.

A la organización de TECNICAfé – Supracafé por el envío de la materia prima, la cual fue indispensable para el desarrollo del proyecto de investigación.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos por acompañarnos en esta gran travesía durante estos años, cada sonrisa, cada momento que compartimos, lo llevaremos en nuestros corazones y mentes, agradecemos sus palabras de apoyo en los momentos más duros, y vivir juntos esta travesía en la formación de un proyecto de vida.

Las directivas de la Universidad de América, 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.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1. La agricultura del café	20
1.1.1. Especie Coffea Arabica	21
1.1.2. El cafeto y su fruto	22
1.1.3. El proceso del café y sus residuos	23
1.2. Compuestos polifenólicos (CPF)	24
1.2.1. Compuestos polifenólicos presentes en el café	26
1.2.2. Cuantificación de compuestos fenólicos: Metodología de Folin-Ciocalteu (F-C)	28
1.3. Métodos de extracción	29
1.3.1. Extracción asistida por ultrasonido	29
1.3.2. Extracción por maceración	29
1.4. Tratamiento de aguas	30
1.4.1. Partículas coloidales	30
1.4.2. Coagulación	32
1.4.3. Tipos de coagulantes	33
1.4.4. Factores que influyen en la coagulación	33
1.5. Clasificación de colorantes	34
1.5.1. Clasificación tintórea	34
1.5.2. Clasificación química	35
1.5.3. Colorantes azoicos	36
1.6. Métodos de separación	38
1.6.1. Destilación	38

2. O.E.1 CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO FENÓLICO OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAFÉ	39
2.1. Recepción y preservación de los residuos de café	40
2.2. Pretratamiento de la materia prima	42
2.2.1. Proceso de molienda	42
2.2.2. Proceso de tamizado	42
2.2.3. Proceso de trituración	45
2.3. Determinación de la humedad	46
2.4. Curva de calibración de ácido gálico (AG)	49
2.4.1. Preparación del disolvente	50
2.4.2. Preparación de solución stock	51
2.4.3. Preparación de solución de carbonato de sodio	52
2.4.4. Ensayo de Folin-Ciocalteu	53
2.4.5. Barrido espectral de la solución stock	55
2.4.6. Gráfico de la curva de calibración de AG	56
2.5. Proceso de extracción asistida por ultrasonido	58
2.5.1. Pre experimentación vía húmeda	58
2.5.2. Filtración al vacío	59
2.5.3. Recuperación del disolvente	60
2.5.4. Análisis de resultados pre experimentación base humedad	62
2.6. Diseño de experimentos proceso extractivo	62
2.6.1. Resultados del proceso extractivo	63
2.6.2. Análisis de resultados diseño de experimentos del proceso extractivo	64
2.6.3. ANOVA proceso extractivo por ultrasonido	65
3. O.E.2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE DEL EXTRACTO FENÓLICO SOBRE LA REMOCIÓN DE COLORANTES AZOICOS	68
3.1. Barrido espectral colorantes azoicos	70
3.2. Pre experimentación dosis mínima de coagulación y variación de pH	72
3.2.1. Determinación del volumen de coagulante	72
3.2.2. Variación del pH	73
3.2.3. Filtración de coloides	76

3.2.4.	Evaluación de la actividad coagulante del extracto natural	77
3.2.5.	Resultados de la pre experimentación coagulante natural	79
3.2.6.	Análisis de resultados pre experimentación coagulante natural	81
3.3.	Diseño de experimentos con coagulante natural	83
3.3.1.	Análisis de resultados diseño de experimentos coagulante natural	87
3.3.2.	ANOVA evaluación de la remoción del color con coagulante natural	87
4.	O.E.3 COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO EN REMOCIÓN CON UN COAGULANTE CONVENCIONAL	90
4.1.	Pretratamiento del sulfato de aluminio	90
4.2.	Pre experimentación dosis de sulfato de aluminio	91
4.2.1.	Análisis de resultados pre experimentación con sulfato de aluminio	92
4.3.	Diseño de experimentos con sulfato de aluminio	92
4.3.1.	Análisis de resultados con sulfato de aluminio	96
4.3.2.	ANOVA remoción de color con sulfato de aluminio	97
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	102
	ANEXOS	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura morfológica de la semilla café	22
Figura 2. Proceso productivo del café	23
Figura 3. Reacción entre el ácido gálico y el reactivo de F-C	28
Figura 4. Zonas de un sistema coloidal	31
Figura 5. Clasificación tintórea de los colorantes.	34
Figura 6. Clasificación química de los colorantes	35
Figura 7. Estructura de los colorantes azo	36
Figura 8. Proceso de extracción de compuestos polifenólicos	39
Figura 9. Ubicación del municipio de Cajibío, en el departamento del Cauca (Colombia)	40
Figura 10. Montaje para el proceso de molienda	42
Figura 11. Montaje para el proceso de tamizado	42
Figura 12. Montaje para el proceso de trituración	45
Figura 13. Termobalanza de humedad	46
Figura 14. Gráfica de humedad para los residuos frescos de café	47
Figura 15. Gráfica de humedad para los residuos secos de café	47
Figura 16. Montaje para la preparación del disolvente etanol-agua (50:50)	50
Figura 17. Preparación de solución stock, diluciones y carbonato de sodio al 5%	53
Figura 18. Preparación de muestras según metodología de Folin-Ciocalteu	54
Figura 19. Ensayo de Folin-Ciocalteu luego de pasar por el baño termostático	54
Figura 20. Espectrofotómetro de UV visible usado para la curva de calibración de AG	55
Figura 21. Gráfico de barrido espectral de la solución stock	56
Figura 22. Curva de calibración de AG	57
Figura 23. Montaje de extracción asistida por ultrasonido	59
Figura 24. Montaje de filtración al vacío	59
Figura 25. Montaje para la recuperación del disolvente	60
Figura 26. Preparación de muestras con residuos de café	63
Figura 27. Resultados obtenidos CPF totales del diseño de experimentos	64
Figura 28. Gráfica de humedad para coagulante natural	69

Figura 29. Espectrofotómetro de UV visible usado para la evaluación de remoción de color	70
Figura 30. Barrido espectral del colorante azoico amarillo ácido # 36	71
Figura 31. Barrido espectral del colorante azoico rojo ácido # 88	71
Figura 32. Medidor de pH usado para la variación del pH en las muestras coloreadas	73
Figura 33. Pre experimentación dosis mínima de coagulación y variación de pH	74
Figura 34. Barrido espectral con variación de pH para el colorante azoico amarillo ácido # 36	74
Figura 35. Barrido espectral con variación de pH para el colorante azoico rojo ácido # 88	75
Figura 36. Tonalidades del colorante azoico amarillo ácido # 36 por la variación de pH	76
Figura 37. Montaje filtración de coloides	77
Figura 38. Turbidímetro usado para la evaluación de remoción de turbidez	78
Figura 39. Resultados remoción del color del colorante amarillo # 36	79
Figura 40. Resultados porcentaje de turbidez del colorante amarillo # 36	80
Figura 41. Resultados remoción del color del colorante rojo # 88	80
Figura 42. Resultados porcentaje de turbidez del colorante rojo # 88	81
Figura 43. Montaje test de jarras diseño de experimentos coagulante natural	85
Figura 44. Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante amarillo # 36 con coagulante natural	86
Figura 45. Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante rojo # 88 con coagulante natural	86
Figura 46. Montaje para el pretratamiento del sulfato de aluminio	90
Figura 47. Dosis mínima de sulfato de aluminio para coagulación	91
Figura 48. Pre experimentación dosis de sulfato de aluminio	92
Figura 49. Montaje test de jarras diseño de experimentos sulfato de aluminio	94
Figura 50. Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante amarillo # 36 con sulfato de aluminio	95
Figura 51. Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante rojo # 88 con sulfato de aluminio	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Participación porcentual en la producción mundial de café	20
Tabla 2. Especificación del <i>Coffea arabica</i> .	21
Tabla 3. Residuos obtenidos en cada etapa de la producción del café	24
Tabla 4. Clasificación general de los compuestos polifenólicos (CPF)	25
Tabla 5. Compuestos polifenólicos (CPF) en las diferentes partes del fruto de café	27
Tabla 6. Peligros de los colorantes azoicos amarillo ácido N°36 y rojo ácido N°88	37
Tabla 7. Especificaciones de los residuos	41
Tabla 8. Tamizado de la cáscara deshidratada	43
Tabla 9. Tamizado del grano verde de trilla	44
Tabla 10. Porcentaje de humedad de los residuos	48
Tabla 11. Concentración de solución stock y diluciones	52
Tabla 12. Puntos curva de calibración de AG	56
Tabla 13. Composición de fenoles totales del residuo de cáscara fresca (CF)	61
Tabla 14. Planteamiento del diseño de experimentos proceso extractivo	63
Tabla 15. Concentración total de CPF en base seca.	66
Tabla 16. Análisis de la varianza para extracción por ultrasonido	67
Tabla 17. Composición de fenoles totales del residuo de cáscara deshidratada (CD)	68
Tabla 18. Planteamiento del diseño de experimentos evaluación coagulante natural	84
Tabla 19. Dosis de coagulante natural en mg de base seca	84
Tabla 20. Porcentaje de remoción de color empleando el coagulante natural	88
Tabla 21. Análisis de la varianza remoción de colorante azoico amarillo ácido #36	88
Tabla 22. Análisis de la varianza remoción de colorante azoico rojo ácido #88	89
Tabla 23. Planteamiento del diseño de experimentos comparación con sulfato de aluminio	93
Tabla 24. Dosis de sulfato de aluminio en mg de base seca	93
Tabla 25. Porcentaje de remoción de color empleando sulfato de aluminio	97
Tabla 26. Análisis de la varianza remoción de colorante azoico amarillo ácido #36	97
Tabla 27. Análisis de la varianza remoción de colorante azoico rojo ácido #88	98

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de humedad	46
Ecuación 2. Concentración en ppm (<i>mg/L</i>)	51
Ecuación 3. Ecuación de la recta de la curva de calibración de AG	57
Ecuación 4. Concentración de ácido gálico en base seca	61
Ecuación 5. Determinación del volumen de coagulante	72
Ecuación 6. Cálculo del porcentaje de remoción de color	77
Ecuación 7. Cálculo del porcentaje de remoción de la turbidez	78

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS COLORANTES AZÓICOS	109
ANEXO 2. TOMA DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 2558	111
ANEXO 3. DIAGRAMAS DE FLUJO CON SEMAFORO DE SEGURIDAD PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO	116
ANEXO 4. TOMA DE DATOS PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO	120
ANEXO 5. DIAGRAMAS DE FLUJO CON SEMAFORO DE SEGURIDAD PARA LA EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO	122
ANEXO 6. TOMA DE DATOS DEL PROCESO EXTRACTIVO POR ULTRASONIDO	124
ANEXO 7. BALANCES DE MASA DEL PROCESO EXTRACTIVO DE POLIFENOLES	125
ANEXO 8. TOMA DE DATOS DEL PROCESO EXTRACTIVO A MAYOR ESCALA CON CÁSCARA DESHIDRATADA (CD)	129
ANEXO 9. TOMA DE DATOS PARA EL BARRIDO ESPECTRAL DE LOS COLORANTES AZOICOS	130
ANEXO 10. TOMA DE DATOS PARA EL BARRIDO ESPECTRAL DE LOS COLORANTES, VARIANDO EL pH	132
ANEXO 11. TOMA DE DATOS DE LA PRE EXPERIMENTACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE	135
ANEXO 12. TOMA DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE	139
ANEXO 13. TOMA DE DATOS DE LA PRE EXPERIMENTACIÓN PARA LA COMPARACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO	141
ANEXO 14. TOMA DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA COMPARACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO	142
ANEXO 15. TOMA DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL COAUGULANTE NATURAL	144

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C: Grados centígrados	KHz: Kilohercio
ACG: Ácidos clorogénicos	mBar: Milibares
AF: Ácidos fenólicos	min: Minutos
AG: Ácido gálico	mL: Mililitros
BS: Base seca	mm: Milímetros
CA-36: Colorante azoico amarillo ácido #36	Mo (V): Molibdato 5
CD: Residuo cáscara deshidratada	MSNM: Metros sobre el nivel del mar
CF: Residuo cáscara fresca	nm: Nanómetros
CPF: Compuestos polifenólicos	PE: Polifenoles extraíbles
CR-88: Colorante azoico rojo ácido #88	pH: Concentración de hidrogeniones
CVT: Residuo café verde de trilla	PNE: Polifenoles no extraíbles
Dp: Diámetro de partícula	ppm: Partes por millón
F-C: Folin-Ciocalteu	rpm: Revoluciones por minuto
FLA: Flavonoides	SA: Sulfato de aluminio
g: Gramos	TAN: Taninos
GAE: Equivalentes de ácido gálico	

RESUMEN

Por medio de este trabajo investigativo, se sugiere una alternativa sostenible en comparación a los coagulantes metálicos utilizados actualmente, los cuales han generado repercusiones sobre la salud humana y el medio ambiente [1]. A su vez, se les otorga un mejor uso a los residuos del proceso de producción de café pertenecientes a la especie *Coffea Arabica*, de variedad *Caturra*; Estos subproductos contienen gran cantidad de compuestos polifenólicos (CPF) identificados con la capacidad de actuar como coagulante para la remoción de color [2], su extracción se presenta como alternativa viable gracias a su biodegradabilidad, de origen renovable, localmente accesibles, seguridad en el proceso, menor costo y fácil implementación.

Para esto se evalúa la cáscara de café fresca, deshidratada y el café verde de trilla, obteniendo de la cáscara deshidratada la mayor cantidad de polifenoles totales cuantificados por el método Folin-Ciocalteu [3] extraídos por medio de ondas provenientes ultrasonido. Para determinar el residuo con mayor rendimiento se plantea un diseño de experimentos donde se evalúan los tipos de residuos y el diámetro de partícula para el proceso extractivo, obteniendo una concentración de polifenoles totales máxima de $6,96 \pm 0,08$ mgGAE/gBS para la cáscara deshidratada por medio de ondas de ultrasonido durante 30 minutos a una frecuencia de 40KHz, empleando como disolvente una mezcla de Etanol-Agua (50:50) V:V.

Este extracto de polifenoles se evalúa en aguas sintéticas con colorantes de tipo azoico (Colorante amarillo ácido # 36 y colorante rojo ácido #88), para probar su eficiencia como coagulante en un test de jarras. Para aquello, se planteó otro diseño de experimentos tomando como factores la concentración del extracto y el pH, ambos con tres niveles. Se determina que para una remoción del 49,76% de CA-36 es necesario una concentración de 15 mg/L del coagulante natural a un pH de 7,10, del mismo modo para una remoción del 59,37% de CR-88 es necesario una concentración de 15 mg/L del coagulante natural a un pH de 5,24.

Finalmente, con el fin de comparar los resultados obtenidos con el extracto polifenólico, se emplea sulfato de aluminio como coagulante industrial, en donde, se determina que para una remoción del 65,44% de CA-36 es necesario una concentración de 150 mg/L de sulfato de aluminio a un pH de 7,14. Del mismo modo para una remoción del 95,04% de CR-88 es necesario una concentración de 10 mg/L de sulfato de aluminio un pH de 5,21.

Palabras Clave: *Colorantes azoicos, tratamiento de aguas, sulfato de aluminio, coagulantes, sostenibilidad, residuos, café, compuestos polifenólicos, remoción de color.*

INTRODUCCIÓN

El café es de los productos que más ha contribuido al crecimiento, la financiación de la balanza de pagos, el empleo y la estabilidad monetaria en Colombia [4]; Junto con un proceso de producción que emplea tan solo el 9,5% del peso de fruto seco, donde el 90,5% restante se convierte en residuo [5]. Una de las principales especies cultivadas según las atractivas condiciones geográficas de la nación es la *Coffea arábica* y entre los residuos de su industrialización se destacan la cáscara o pulpa y el grano verde de trilla [6], los cuales contienen compuestos polifenólicos (CPF) de interés y fácil extracción [7].

La fracción fenólica del café está compuesta principalmente de ácidos clorogénicos (ACG), taninos solubles y compuestos relacionados, alcanzando niveles de hasta 14 % en base seca [8], los polifenoles como el ácido gálico poseen en su estructura la unión de carbohidratos con grupos hidroxilo y carboxilo, capaces de donar un protón a una molécula de agua que es hidrolizada [9] para la formación de coloidales insolubles, y adsorber partículas favoreciendo el proceso de coagulación [10].

La separación de los colorantes azoicos que provienen de vertimientos de la industria textil constituye uno de los mayores desafíos en el campo del tratamiento de aguas, debido a que presentan estabilidad a la luz, a la temperatura y resistencia a ataques de microorganismos. Por otro lado, en efecto, el uso de sales de aluminio o hierro como coagulantes, favorece la formación de hidróxidos que no presentan solubilidad y forman precipitados de lodos nocivos [1].

Por esta razón surge la necesidad de evaluar la actividad coagulante del extracto polifenólico de estos residuos, para obtener un producto natural y sostenible, el cual contribuye al tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil y ayudan a disminuir el impacto ambiental en estos efluentes, el semillero de investigación Procesos de Separación No Convencionales (GPS) buscar escoger el residuo que presente las mejores características para la extracción de polifenoles y evaluar la coagulación en aguas sintéticas con colorantes azoicos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la remoción de colorantes azoicos mediante un coagulante extraído a partir del residuo de café (*Coffea arabica*) proveniente de la zona occidente de Colombia.

Objetivos específicos

- Caracterizar el extracto fenólico obtenido a partir de los residuos de café.
- Establecer la actividad coagulante del extracto fenólico sobre la remoción de colorantes azoicos.
- Comparar el desempeño de remoción entre el coagulante natural proveniente de los residuos de café y de un coagulante convencional.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La agricultura del café

La calidad del café colombiano, ha conseguido un gran prestigio y competitividad con el paso de los años, gracias a su importante ubicación geográfica y denominación de origen. El cultivo de cafés especiales también ha desarrollado un cambio positivo en algunos factores naturales, humanos, de biodiversidad, cultivo, proceso y tradición [11].

La especie *Coffea arabica* L. representa un 60% del total del mercado mundial, pues según el último informe de la Organización Internacional del Café (OIC), se estima que “La producción total de café en el mundo para el año 2020/2021 sea de 169.63 millones de sacos, de los cuales 99.24 millones serán de *Coffea arabica* a y el resto de la especie *Robusta*”[12].

Tabla 1.

Participación porcentual en la producción mundial de café.

Porcentaje Total (%)	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011
Brasil	20,9	30,2	33,3	26,9	29,9	26,8	28,9	27,1	36,0	35,4	40,0
Vietnam	0,13	0,09	0,07	0,17	0,23	1,02	3,61	9,70	12,0	14,6	13,7
Indonesia	3,77	3,77	3,21	5,86	6,20	7,32	6,60	5,87	6,97	8,29	6,84
Colombia	16,0	12,1	10,9	15,5	12,2	13,7	13,4	8,38	9,51	6,39	6,25
Etiopia	4,59	4,30	3,01	3,89	2,86	3,51	3,92	3,09	3,35	3,16	3,23
México	5,04	4,43	4,88	4,40	4,70	5,26	4,15	5,45	3,30	3,28	2,93
Costa de Marfil	6,35	6,34	5,43	4,85	5,10	4,88	3,85	5,02	1,49	1,85	1,17
Otros	43,2	38,8	39,2	38,5	38,9	37,5	35,6	35,4	27,5	27,1	25,9

Nota. Esta tabla muestra la participación en porcentaje de la producción mundial de café que se ve reflejada con el pasar del tiempo, donde el país colombiano tiene una representación significativa. Tomado de: Carlos, P.: Cano, G., César, S., Mejía, V., Caicedo, E., Juan, G., Torres, S. A., Yohana, E., & Calderón, T. (2012). *El mercado mundial del café y su impacto en Colombia*. [En línea]. Disponible: <https://www.banrep.gov.co/es/borrador-710> [Acceso: feb. 17, 2022].

Desde hace más de 170 años, esta actividad agrícola e industrial ha tenido una representación socioeconómica en el país, representando para el tercer trimestre del año 2021, el 1% del PIB

colombiano y una cuota en el PIB agrícola de 15.3%, lo que destaca para la industria [3]. El café cultivado y producido en la mayoría de zonas cafeteras del territorio colombiano representa el 24% de las siembras, el resto corresponde a bosques, cultivo de frutas, hortalizas y criaderos de animales; Por tanto, además de obtener cosechas con denominación nativa y particular, el cultivo de café en Colombia presenta ventajas geográficas y climáticas correspondientes a la localización del país, entre los 1° a 11° de latitud Norte, 74° a 78° de longitud Oeste y entre 1.000 a 2.000 [11] metros sobre el nivel del mar, los cafetos crecen en óptimas condiciones con el fin de conseguir la mejor calidad en sus frutos [14].

1.1.1. Especie *Coffea Arabica*

“Existen más de 1.000 variedades de café arábico, entre ellas se destacan las diversidades de café en Colombia como lo es la Caturra, Colombia, Borbón, Típica y Maragoripe; Es también conocido como Arábica Lavado y de más alta calidad. A diferencia de los granos de otros orígenes, todo el café colombiano es lavado, pues es un proceso en el cual se extraen impurezas y agentes ácidos, otorgándole un rico sabor y aroma.”[15]

Tabla 2.

Especificación del *Coffea arabica*.

Género	<i>Coffea</i>
Especie	<i>Coffea arabica L</i>
Familia	Rubiáceas
Origen	África Oriental
Lluvia anual	1.500 – 2.000 mm/m ²
pH	Ligeramente ácido
Temperatura	20 - 25°C
Características	Arbusto de 3 m y libremente puede crecer hasta 7 m de altura, con ramas redondeadas, hojas opuestas, peciolo corto, flores blancas aromáticas. El fruto es una drupa esférica u oval más o menos carnosa, contiene dos semillas.

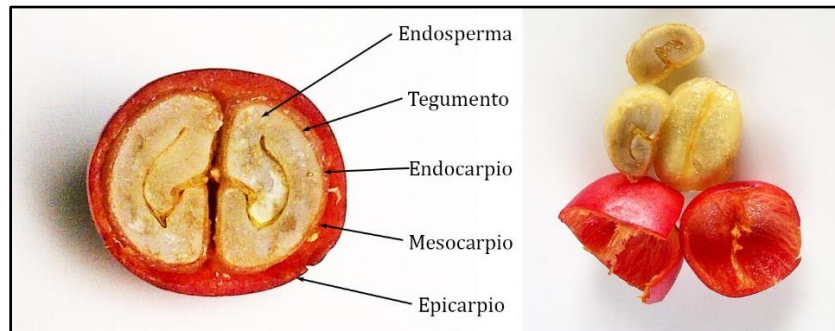
Nota. La tabla muestra la especificación del café tomado para este proyecto. Tomado de: “PULPA DE CAFÉ: *Coffea arábica L*: COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ANTIOXIDANTES”, [En línea]. Disponible en: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/707/3/UTPL_D%C3%ADas_Curay_Alejandra_Tatiana_1064344.pdf [Acceso: feb.17, 2022].

1.1.2. El cafeto y su fruto

En un comienzo el fruto es de color verde, con el tiempo va tornándose de color rojo similar a una pequeña «cereza» o «drupa», y en algunos casos de color amarillo. Como se observa en la *Figura 1*. en su interior se encuentran los granos de café, dos semillas separadas por un surco, protegidas por una película plateada y recubiertos por una piel de color amarillo [16].

Figura 1.

Estructura morfológica de la semilla café.



Nota. La figura representa la estructura morfológica de la semilla del café. Tomado de: Gélvez, J. (2018, May 23). *El cafeto partes y características de la planta de café*. Mundo Cafeto. <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/> [Acceso: feb.24, 2022].

- a) Endospermo → Es el grano de café como tal, parte del fruto que una vez tostada y molida, se utiliza para la producción de la bebida del café [16].
- b) Tegumento → También llamado piel plateada, es una cubierta o película muy delgada y de color plateado [16].
- c) Endocarpio → Es una cubierta dura que se denomina pergamino o cáscara, una vez que se ha secado la semilla se separa del grano de café [16].
- d) Mesocarpio → Es una sustancia gelatinosa y azucarada que recibe el nombre de baba o mucílago, la cual queda una vez el café es descerezado y se le retira por medio del proceso de fermentación [16].
- e) Epicarpio → Es la cubierta o piel exterior del fruto, conocida como pulpa del café, puede ser de color rojo o amarillo [16].

1.1.3. El proceso del café y sus residuos

La cosecha es la recolección de fruto maduro de color rojo denominado *Cereza* y su proceso de producción se puede realizar por vía húmeda o seca. Pues bien, si se despulpa, fermenta, lava y seca, se conoce como beneficio agrícola vía húmeda, se obtiene grano seco se trilla para poder retirar la capa dorada que lo recubre. Finalmente, los granos seleccionados se tuestan para que desarrollen el sabor y aroma del café, se muelen y empaacan [15].

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 [17].

Figura 2.

Proceso productivo del café.



Nota. La figura representa las generalidades del proceso productivo vía húmeda del café hasta su consumo. Tomado de: “Proceso del café ESCoffee”, [En línea]. Disponible en: <https://escoffee.com/origen-del-cafe/> [Acceso: feb.24, 2022].

Según el Centro Nacional de investigaciones de Café, Cenicafé “En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual” [18]. Lo que indica que alrededor de un 95% restante son residuos, y debido las altas producciones de café por hectárea, se ha evidenciado la necesidad de una legislación ambiental más exigente, debido a los altos costos de los combustibles y excesiva aplicación de fertilizantes químicos que han producido “Eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad” [19].

Tabla 3.

Residuos obtenidos en cada etapa de la producción del café.

Proceso	Pérdida (gramos)	Residuo obtenido
<i>Despulpado</i>	436	Pulpa fresca
<i>Desmucilaginado</i>	149	Mucílago
<i>Secado</i>	171	Agua
<i>Trilla</i>	42	Pergamino / Película plateada
<i>Torrefacción</i>	22	Volátiles
<i>Preparación bebida</i>	104	Borra
<i>Pérdida acumulada</i>	924	-

Nota. La tabla muestra la cantidad en gramos de pérdida por cada etapa del proceso de beneficio e industrialización de 1000 g de café cereza. Tomado de: “Subproductos del café: Fuente de energía renovable”, [En línea]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf> [Acceso: feb.17, 2022].

Según la *Tabla 3* por cada kilogramo de producción de café, un 92.4% queda en forma residual representado en “Materiales lignocelulósicos como hojas, ramas y tallos generados en el proceso de renovación de los cafetales; Frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa de café recolectado. De manera análoga, se observa como la pulpa o exocarpio del fruto, representa el mayor porcentaje de aproximadamente el 44% del fruto fresco” [18], generado en la etapa de despulpado del café, siendo uno de los principales problemas ambientales asociados, este residuo que será utilizado en la presente investigación junto con el grano verde de trilla, lo que favorece para la obtención de subproductos con valor agregado y un beneficio ecológico.

1.2. Compuestos polifenólicos (CPF)

Los compuestos fenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas, usados para participar en funciones biológicas, mecanismos de defensa, estrés o estímulos como la radiación ultravioleta o la agresión de patógenos. Se encuentran en los alimentos de origen vegetal, son

metabolitos secundarios sintetizados a través de dos importantes rutas primarias: La ruta del ácido isquémico y la ruta de los poliacetatos [20]. En su estructura contienen al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo, en su mayoría dos aromáticos (Anillos A y B) y uno heterociclo oxigenado (Anillo C) [21].

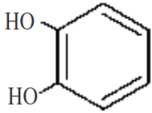
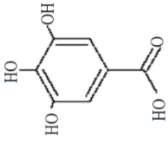
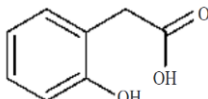
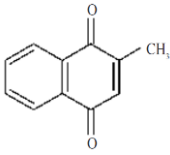
Los CPF se clasifican en 3 grandes grupos:

- a) Ácidos fenólicos (AF),
- b) Flavonoides (FLA)
- c) Taninos (TAN)

Adicionalmente, se pueden agrupar según su estructura química básica (como el tipo y número de anillos fenólicos) y en diferentes subclases, según sustituciones específicas en la estructura básica, asociación con carbohidratos y formas polimerizadas [22]. Sin embargo, debido a la gran diversidad de estructuras derivadas, se les ha agrupado en 8 familias, las cuales son reportadas en la *Tabla 4*.

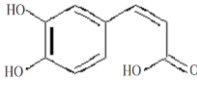
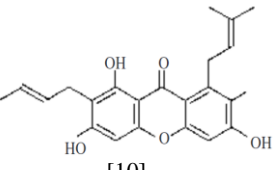
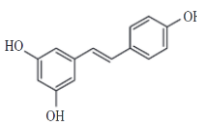
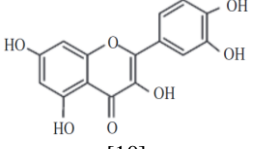
Tabla 4.

Clasificación general de los compuestos polifenólicos (CPF)

Clase	Formula	Ejemplo	Clase	Formula	Ejemplo
Fenoles simples	C ₆	 Catecol [10]	Ácidos hidroxibenzoicos	C ₆ -C ₁	 Ácido gálico [10]
Ácidos fenilacéticos	C ₆ -C ₂	 Ácido 2-hidroxi-fenilacético [10]	Naftoquinonas	C ₆ -C ₄	 Menadiona [10]

Continuación tabla 4.

Clasificación general de los compuestos polifenólicos (CPF)

Clase	Formula	Ejemplo	Clase	Formula	Ejemplo
Ácidos hidroxicínamicos	$C_6 - C_3$	 [10] Ácido cafeico	Xantonas	$C_6 - C_1 - C_6$	 [10] Mangostina
Estíbenos	$C_6 - C_2 - C_6$	 [10] Resveratrol	Flavonoides	$(C_6 - C_3 - C_6)$	 [10] Quercetina

Nota. La tabla muestra los tipos de polifenoles, su clasificación, nombre y estructura. Información e imágenes tomadas de: Mercado-Mercado, G., Carrillo, L. de la R., Wall-Medrano, A., López Díaz, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. In *Nutrición Hospitalaria* (Vol. 28, Issue 1, pp. 36–46). <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298> [Acceso: mar.4, 2022].

Los CPF también se pueden clasificar en polifenoles extraíbles (PE) los cuales se solubilizan en los disolventes orgánicos acuosos, y los no extraíbles (PNE) que quedan retenidos en el residuo resultante después de la extracción orgánica acuosa [23].

1.2.1. Compuestos polifenólicos presentes en el café

La fracción fenólica de los granos de café está compuesta principalmente de ácidos clorogénicos (ACG) y compuestos relacionados, alcanzando niveles de hasta 14 % en base seca, junto con atributos en cuanto a actividades hipoglucemiantes, antivirales, hepatoprotectoras y antiespasmódicas. Dentro de los ACG se encuentran los ácidos cafeoilquínicos, ácidos dicafeoilquínicos, ácidos feruloilquínicos, ácidos cumaroilquínicos, mono y diésteres mixtos de ácidos cafeico y ferúlico, formando más de 40 ácidos, cada grupo con al menos tres isómeros. Se

localizan principalmente en la superficie de la semilla de café (Endospermo). Durante el procesamiento del café y debido a su inestabilidad térmica, estos pueden isomerizarse, hidrolizarse o degradarse en compuestos de bajo peso molecular, pues elevadas temperaturas de tostado también producen una transformación en quinolactonas y otros compuestos, en melanoidinas [22].

Tabla 5.

Compuestos polifenólicos (CPF) en las diferentes partes del fruto de café

PARTE DEL CAFÉ	CPF	PORCENTAJE
<i>Pulpa y piel de café</i>	Taninos solubles	0.8% - 2.8%
<i>Granos de café verde</i>	Ácidos clorogénicos (ACG)	4.0 % - 8.4 %
<i>Café tostado comercial</i>	Ácidos clorogénicos (ACG)	0.5 % - 7.0 %

Nota. La tabla muestra la presencia de estructuras fenólicas en cada parte del café. Información tomada de: “Functional properties of coffee and coffee by-products”, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028> [Acceso: mar.4, 2022].

Como se observa en la *Tabla 5*, los taninos condensados son los principales compuestos fenólicos en la pulpa de café, en la semilla los compuestos fenólicos están presentes predominantemente como una familia de ésteres, los ACG formados entre ciertos ácidos hidroxycinámicos y ácido quínico. Otros compuestos fenólicos, como taninos, lignanos y antocianinas, también están presentes en la semilla de café, aunque en menores cantidades [22]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el contenido total de CPF puede variar según factores como la genética, especie, cultivo, grado de maduración, prácticas agrícolas, el clima y el suelo.

Estas moléculas traen consigo beneficios no solo en la dieta de los humanos, como el principal antioxidante, previniendo enfermedades. Sino también en procesos de coagulación, los polifenoles como el ácido gálico, caseico y ferúlico poseen en su estructura la unión de carbohidratos con grupos hidroxilo y carboxilo, capaces de donar un protón a una molécula de agua que es hidrolizada, para la formación de iones hidronio e hidróxidos coloidales insolubles, capaces de

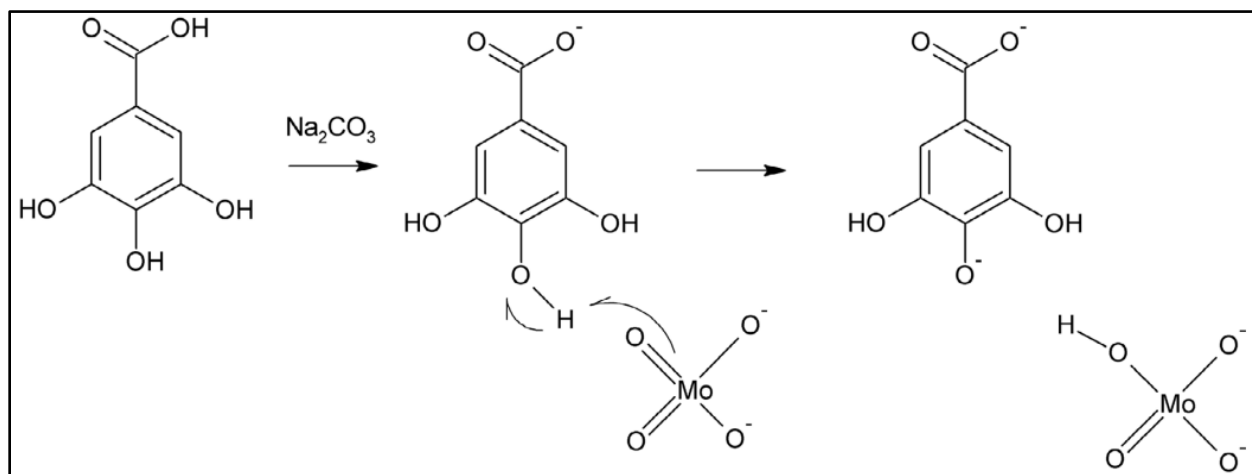
aceptar protones y adsorber partículas coloidales propiciando la precipitación [20]. El extracto de los residuos de café contiene los CPF que se observan en la *Tabla 5* y realiza el mismo mecanismo en presencia del agua, por esta razón es también llamado como un coagulante natural, el cual se ve favorecido a pH ácido.

1.2.2. Cuantificación de compuestos fenólicos: Metodología de Folin-Ciocalteu (F-C)

La determinación cuantitativa de CPF con la ayuda del reactivo de Folin-Ciocalteu (F-C) es un método que implica la oxidación en solución alcalina de fenoles por el reactivo principal, una mezcla de fosfomolibdico y fosfotungstico de color amarillo y la medición colorimétrica del azul molibdotungstosofato Mo(V) resultante [24]. Estos pigmentos azules tienen una máxima absorbancia dependiendo de la composición cualitativa y/o cuantitativa de las mezclas fenólicas, además del pH de las soluciones, generalmente obtenidas mediante la adición de carbonato de sodio, comúnmente se ven reflejadas a un máximo de longitud de onda de 765 nm [3].

Figura 3.

Reacción entre el ácido gálico y el reactivo de F-C



Nota. La figura muestra la reacción entre el ácido gálico y el reactivo de Folin-Ciocalteu, donde se forma el complejo azul de molibdotungstosofato Mo(V). Tomado de: Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F., & Álvarez-Parrilla, E. (2017). NUEVO ACERCAMIENTO A LA INTERACCIÓN DEL REACTIVO DE FOLIN-CIOCALTEU CON AZÚCARES DURANTE LA CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES. *TIP*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003> [Acceso: mar.4, 2022].

1.3. Métodos de extracción

La extracción es un proceso de separación para obtener una fase de interés de una porción inactiva, mediante el uso de un componente o mezcla inerte selectiva, llamado disolvente [25]. Existen varios tipos de extracción, las cuales se pueden agrupar en tradicionales como extracción por maceración, solventes, soxhlet o destilación; Y no tradicionales como extracción asistida por ultrasonido microondas, fluidos supercríticos, turbo o eléctrica [26]. De forma que las condiciones operativas y tipo de extracción se determinan según la composición de la mezcla o sustancia a tratar, para los compuestos presentes en los residuos agroindustriales con propiedades funcionales o tecnológicas, como en este caso los CPF, los métodos más acertados fueron evaluados y comprobados recientemente por Aponte-Palomino [27], Chacua-Rodríguez [28], Nuván-Rojas [29] y Musalan [2] fueron la extracción asistida por ultrasonido y por maceración y.

1.3.1. Extracción asistida por ultrasonido

El ultrasonido es ampliamente utilizado debido a que brinda la posibilidad de realizar evaluaciones no invasivas, ni destructivas y por ser fuente de energía. Según este criterio, sus aplicaciones pueden ser de señal y de potencia, para la extracción de CPF se utiliza un ultrasonido de potencia, el cual genera señales de alta intensidad para modificar mediante ondas un proceso o producto.

<<Produce cambios físicos y químicos en el medio, a través de la generación y subsiguiente colapso de burbujas de cavitación, las cuales aparecen, crecen y colapsan dentro del líquido. Esto ocurre asimétricamente cerca de las interfaces y golpes sobre la superficie sólida. Se requiere de un medio líquido, un generador de energía y un transductor, el cual convierte energía eléctrica, magnética o cinética en energía acústica.>> [26]

1.3.2. Extracción por maceración

Consiste en sumergir un sólido vegetal en un líquido para extraer de él sus partes solubles, esta puede ser dinámica o estática [30]. Cuenta con variables controladas como el tiempo, la temperatura y agitación; Adicionalmente, también se pueden identificar en primer lugar como

maceración en frío donde cubre completamente un sólido a extraer con solvente, presenta ventajas en cuanto al uso de equipos más simples y con un menor gasto energético. En segundo lugar, se encuentra una maceración en caliente, poniendo en contacto el material y el solvente en presencia de temperatura, requiriendo menos tiempo, pero presentando mayores complicaciones en algunos casos, pues el calor puede destruir algunas propiedades del material además de necesitar equipos más especializados. [26]

1.4. Tratamiento de aguas

1.4.1. Partículas coloidales

Los coloides son partículas con diámetro entre 1 μm y 1nm responsables de la turbidez o del color del agua superficial, se pueden identificar como hidrofóbicos o hidrofílicos, sin embargo, obedeciendo su constitución molecular nunca son completamente hidrofílicos, ni hidrofóbicos [31].

a) Los coloides hidrofóbicos \rightarrow Son de origen orgánico, con una estructura R-NH₂ o R-OH que genera la coloración del agua. Las partes electronegativas crean enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, generando una capa difusa que se opone a la unión de los coloides, lo que provoca un gradiente o diferencia de potencial entre el límite de solución rígidamente unida a la partícula y la masa del líquido llamado factor de la estabilización (Potencial “Z”).

b) Los coloides hidrofílicos \rightarrow Son de origen mineral, en su superficie se encuentra cargas negativas concentradas, lo que hace imposible un fenómeno de aglomeración [31].

En efecto, una suspensión coloidal es un sistema fisicoquímico estable regido por la teoría de la doble capa, consta de dichas partículas coloidales cargadas, a lo que se denomina fase dispersa y otra fase continúa o fluida.

Pues bien, las cargas superficiales que poseen los coloides atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor inmediato [32]. Se produce un balance de fuerzas de atracción-repulsión entre ellas, denominado como fuerza de

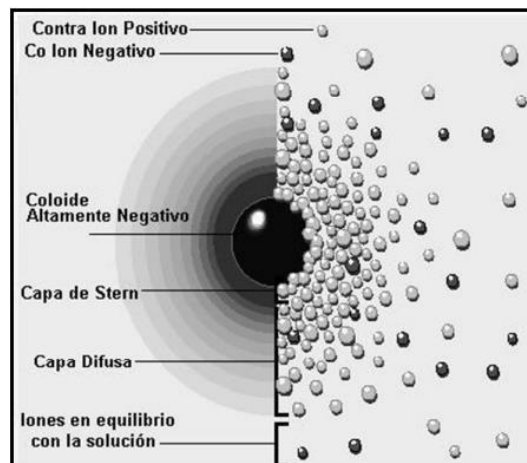
repulsión, cuando las partículas coloidales permanecen separadas después de la colisión y fuerza de atracción cuando las partículas se aglomeran después de la colisión [33].

En la zona de carga neutra, el continuo movimiento de las moléculas de agua impone la existencia de una capa difusa de cargas eléctricas que se extienden hacia el seno del agua, a partir de la cual se pueden identificar varias zonas :

- a) Capa superficial del coloide → Constituida por cargas de signo negativo, es donde existe un potencial eléctrico denominado Potencial de Nernst.
- b) Capa de Stern → Constituida por cargas de signo positivo, atraídas fuertemente por la superficie coloidal, donde el potencial eléctrico se denomina potencial de Stern.
- c) Capa difusa de Gouy-Chapman → Constituida por el resto de iones móviles, hasta la superficie neutra del líquido.

Figura 4.

Zonas de un sistema coloidal.



Nota. La figura representa las zonas de un sistema de suspensión coloidal. Tomado de: “Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS Tema 6. Coagulación y floculación”, [En línea]. Disponible en: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf [Acceso: abr. 10, 2022].

“La existencia del potencial Zeta y la doble capa es lo que impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals entren en acción y agrupen los coloides”. Por tanto, conseguir la formación de agregados de partículas o flóculos dependerá de la capacidad de ruptura de la estabilidad de los coloides, es decir que depende de la posibilidad de reducir el potencial “Z” existente entre partícula y la capa límite que define la zona de movilidad iónica. Adicionalmente, existe la fuerza gravitacional, la cual decantará las partículas presentes en el agua, aunque algunas por tamaño, superficie específica y peso, necesitarían para ello un tiempo casi infinito, una de las maneras más eficaces de contribuir a este fenómeno es por procesos posteriores de coagulación y posterior floculación, sedimentación o filtración [32].

1.4.2. Coagulación

Es una de las etapas que hace parte del proceso de clarificación para el tratamiento de aguas, con el fin de eliminar sustancias en suspensión, sustancias disueltas y la supresión de la flora microbiana, además de la posible corrección de algunas características fisicoquímicas [32].

El objetivo es la desestabilización de la carga electrostática, anular las fuerzas repulsivas, entre más colisiones se produzcan, mayor será la posibilidad de agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, cambiando las propiedades de los elementos insolubles de modo que sean más fácilmente separables, iniciando la formación de microfloculos. [31]

Lo que facilitaría una etapa siguiente de decantación, espesado o floculación, en donde aumenta el tamaño y densidad de estos microfloculos haciendo una sedimentación más sencilla y rápida. Estas partículas a coagular pueden proceder del suelo, por arrastre de minerales en disolución, de la descomposición de materia orgánica natural en los cursos de agua o de vertidos domésticos e industriales, como sería este caso de la industria textil [32].

1.4.3. Tipos de coagulantes

- a)** Coagulantes inorgánicos → Como lo es el sulfato de alúmina en estado sólido, líquido o sal. También los polímeros de aluminio, como las sales de aluminio que se condensan dando lugar a polímeros que son capaces de coagular. [27]
- b)** Coagulantes orgánicos → Como lo son los polielectrólitos, a su vez, pueden ser:
 - ✓ De origen natural: En ocasiones son considerados auxiliares de la coagulación o coadyuvantes, derivados del almidón o la celulosa. [27]
 - ✓ Sintéticos; Macromoléculas de cadena larga como el óxido de polietileno o la poliacrilamida. [27]

1.4.4. Factores que influyen en la coagulación

- a)** Tipo y cantidad de coagulante → Aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante un test de jarras para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial. [29]
- b)** pH del agua → Para cada coagulante, existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar, siempre que sea posible, en esa zona para optimizar productos y rendimientos. [29]
- c)** Tiempo de mezcla y floculación (Periodo de coagulación) → Es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas. [29]
- d)** Temperatura del agua → La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos (Más fría, más tiempo).
- e)** Agitación y presencia de núcleos (Sólidos en suspensión). [29]

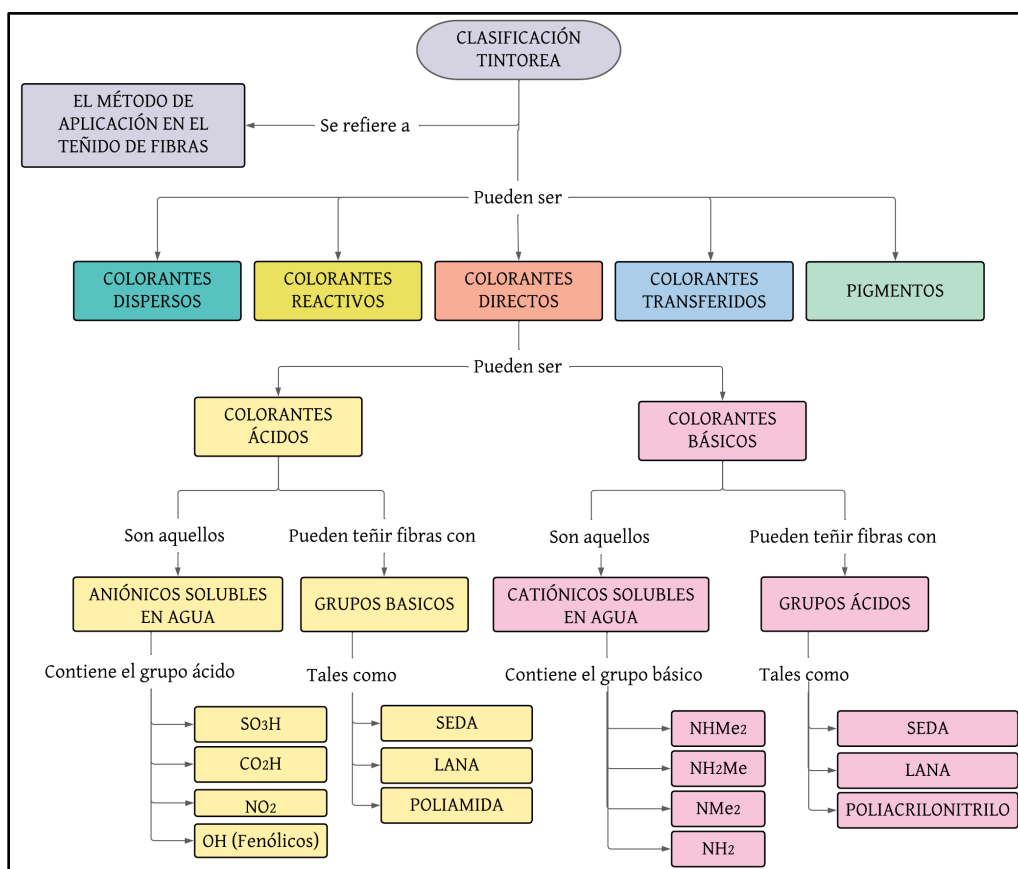
1.5. Clasificación de colorantes

Para que un compuesto sea caracterizado como colorante, además de tener color debe transferirlo al medio al cual se aplica; De este modo, hay sustancias cromógenas específicas para diferentes sustratos. Dependiendo del criterio que se maneje para su agrupación, existen varias clasificaciones de materiales cromogénicos. Se consideran dos enfoques principales para la clasificación [34].

1. Los métodos de aplicación en el teñido de fibras: clasificación tintórea.
2. La constitución química del colorante: clasificación química.

1.5.1. Clasificación tintórea

Figura 5.
Clasificación tintórea de los colorantes.



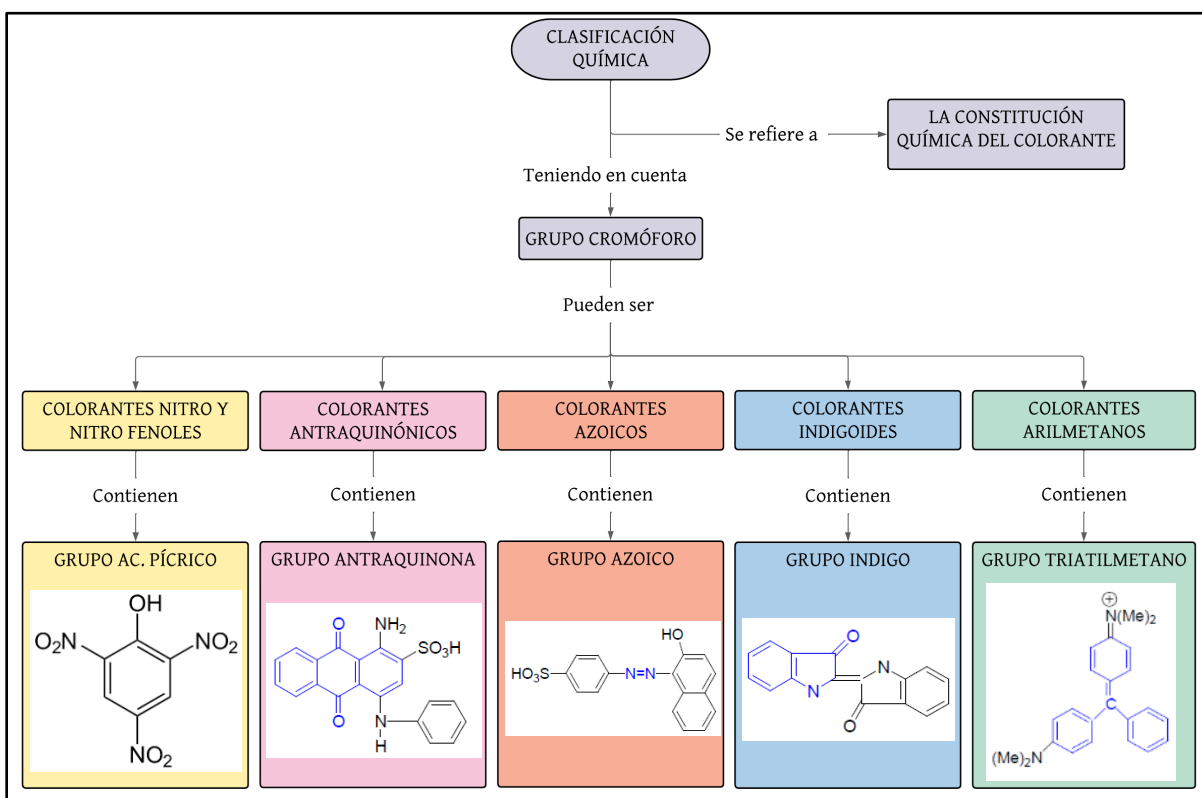
Nota. La figura muestra un mapa conceptual donde se puede denotar la clasificación tintórea otorgada a los colorantes. Información tomada de: E Marciano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes*. [Acceso: mar.9, 2022].

Para esta clasificación se consideran las técnicas de aplicación, principalmente al método de transferencia y fijación a tejidos, papel, fibras y materiales relacionados. Para aquello, dependerá de la estructura química del material a teñir y de la sustancia cromógena: grupos cromóforos, grupos auxocromos y grupos auxiliares. En la *Figura 5* se puede entender más a detalle esta clasificación [34].

1.5.2. Clasificación química

Para esta clasificación se considera el grupo cromóforo presente en la molécula del colorante, éste es el grupo funcional que cuenta con una alta densidad electrónica que corresponde a la longitud de onda de alguna zona de la región visible en la escala de radiaciones electromagnéticas. En la *Figura 6* se puede entender más a detalle esta clasificación [34].

Figura 6.
Clasificación química de los colorantes.



Nota. La figura muestra un mapa conceptual donde se puede denotar la clasificación química que se le otorga a los colorantes y se destaca los colorantes azoicos empleados en este estudio. Información tomada de: E Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes*. [Acceso: mar.9, 2022].

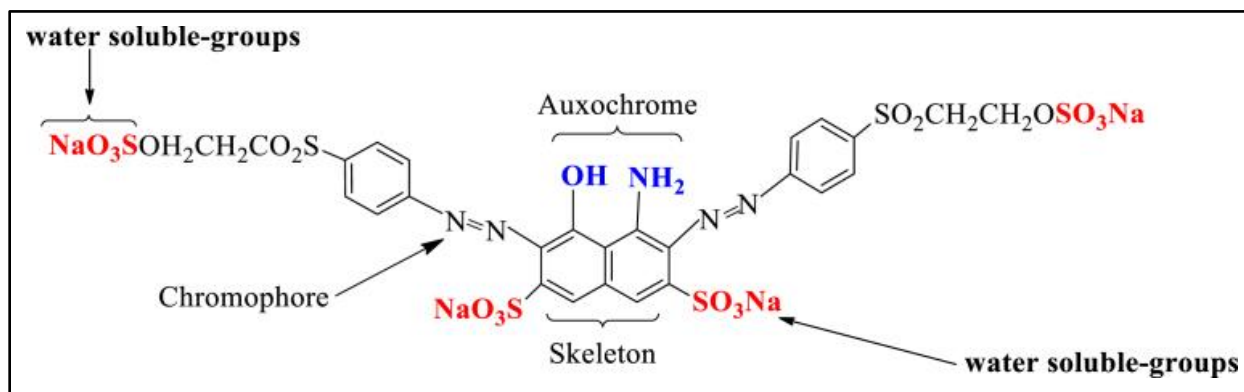
1.5.3. Colorantes azoicos

Aproximadamente el 70 % de todos los colorantes utilizados en la industria son colorantes sintéticos azo, utilizados ampliamente en textiles, impresión y fabricación de papel [35].

Estos compuestos se caracterizan por el grupo funcional (-N=N-) que une dos radicales alquilo o arilos simétricos y/o asimétricos, idénticos o no azoicos. En general, la estructura química de un colorante azo está representada por un esqueleto, los grupos auxocromos, los grupos cromóforos y los grupos solubilizantes según la *Figura 7*. El color de los colorantes azo está determinado por los enlaces azo y sus cromóforos y auxocromos asociados [35].

Figura 7.

Estructura de los colorantes azo

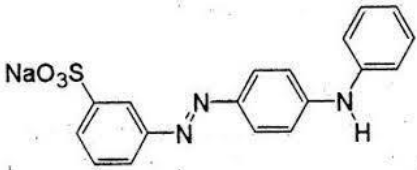
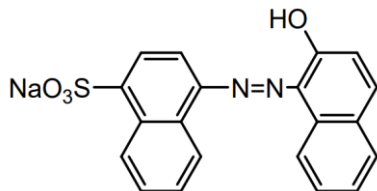


Nota: La figura muestra la estructura presente de los colorantes tipo azo Tomado de: Benkhaya, S., M'rabet, S., & el Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. In *Heliyon* (Vol. 6, Issue 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03271>. [Acceso: mar.9, 2022].

Así como los efectos nocivos de los colorantes azoicos sobre los seres humanos y la vida acuática, han despertado llamados urgentes para el tratamiento de los efluentes que contienen colorantes azoicos para eliminarlos o convertirlos en productos útiles y seguros [35]. Siguiendo este orden, en la *Tabla 6* se demuestran los dos colorantes a evaluar en esta investigación y su ficha técnica presente en el *Anexo 1-1* y *Anexo 1-2*.

Tabla 6.

Peligros de los colorantes azoicos amarillo ácido N°36 y rojo ácido N°88

COLORANTE	ESTRUCTURA	PELIGROS
<p>Amarillo ácido N°36</p>	 <p>[36]</p>	<p>El amarillo ácido 36 como colorante azoico textil no es biodegradable en condiciones aeróbicas; además, sus productos intermedios de degradación, como las aminas aromáticas, son cancerígenos, lo que puede suponer una grave amenaza para el medio ambiente acuoso [36].</p>
<p>Rojo ácido N° 88</p>	 <p>[37]</p>	<p>El rojo ácido 88 como colorante azoico textil, se vierte en las aguas residuales industriales en las que su concentración varía de 10 a 50 mg/l. Sus productos de descomposición son tóxicos para las plantas, los animales y los seres humanos. Sus efectos nocivos pueden ser sensibilización de la piel y mutagenicidad [37].</p>

Nota: La tabla muestra los peligros de usar estos colorantes en las industrias textiles. Información tomada de: [36] Aghdasinia, H., Bagheri, R., Vahid, B., & Khataee, A. (2016). Central composite design optimization of pilot plant fluidized-bed heterogeneous Fenton process for degradation of an azo dye. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 37(21), 2703–2712. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1159734> [37] Malik, A. (n.d.). *Removal of Dyes by Aspergillus sp. in Growth Supportive and Growth Restricted Modes*. 2070–3740. <https://doi.org/10.13140/2.1.2460.9925> [Acceso: mar.11, 2022].

1.6. Métodos de separación

1.6.1. Destilación

Proceso por el que la sustancia volátil de una mezcla se separa de otra que no lo es, calentando la mezcla generalmente homogénea, líquida y miscible; Utilizando la diferencia de los puntos de ebullición de manera selectiva para producir una evaporación y posterior condensación de la misma [38].

Existen varios tipos posibles como la destilación simple, fraccionada, azeotrópica, por arrastre de vapor, seca, reactiva o la que se empleara en este caso, es por medio de destilación al vacío. Este proceso se puede utilizar cuando las sustancias como el *extracto polifenólico* que se va a separar tiene puntos de ebullición muy elevados, con el fin de disminuir la presión del sistema hasta lograr el mayor vacío, de esta forma se puede disminuir el punto de ebullición de los componentes de la mezcla para lograr su separación a temperaturas menos elevadas [38]

Se puede realizar por medio de un equipo que usa una bomba de vacío para reducir la presión, también cuenta con un motor el cual hace que un matraz de evaporación *rote*, es aquí donde se deposita la muestra que contiene los CPF y de ahí el origen de su nombre *rotaevaporador*. Adicionalmente consta de otras partes como:

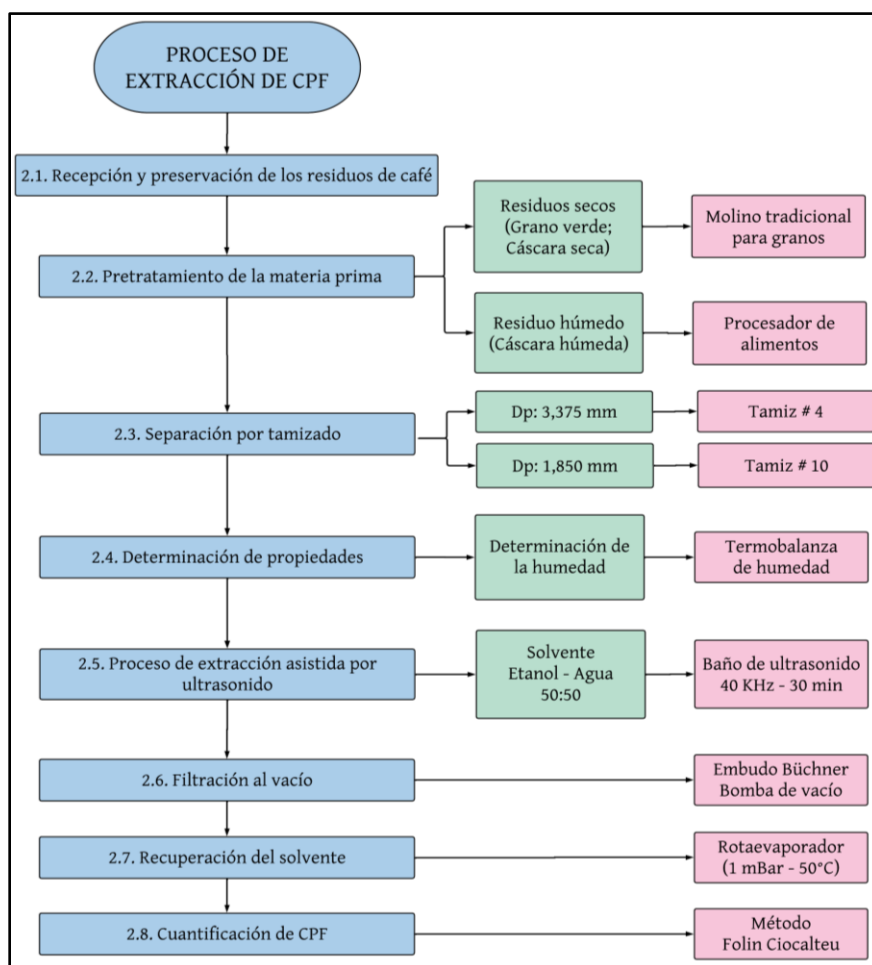
- a) Baño María: A través del cual se calienta la muestra de manera homogénea y controlada, dependiendo de la temperatura con la que se necesite trabajar, esta parte puede contener agua (Máximo 95°C) o combustible (Máximo 180°C). En este caso se trabaja con agua en un rango de 50 – 60 °C [38].
- b) Condensador: Cuando el líquido con menor punto de ebullición, es decir el solvente etanol-agua (50:50) es evaporado, este llega hasta el condensador, donde cambia de estado gaseoso a líquido [38].
- c) Matraz recolector de condensado: A través del cual se recolecta el vapor que entra al condensador y es condensado [38].
- d) Vacuómetro: Algunos equipos cuentan con este dispositivo, que sirve para medir la presión de vacío del sistema [38].

2. O.E.1 CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO FENÓLICO OBTENIDO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE CAFÉ

En este capítulo se describe el proceso de recepción de los residuos de café, su especificación y la preservación de los mismos; Además como se observa en la *Figura 8* se describe el pretratamiento (Molienda, tamizaje y determinación de la humedad), el proceso de extracción de los CPF asistido por ultrasonido, la filtración y recuperación del disolvente. Del mismo modo, el desarrollo de la curva de calibración de AG para la cuantificación de fenoles presentes en la cáscara fresca (CF), cáscara deshidratada (CD) y café verde de trilla (CVT).

Figura 8.

Proceso de extracción de compuestos polifenólicos



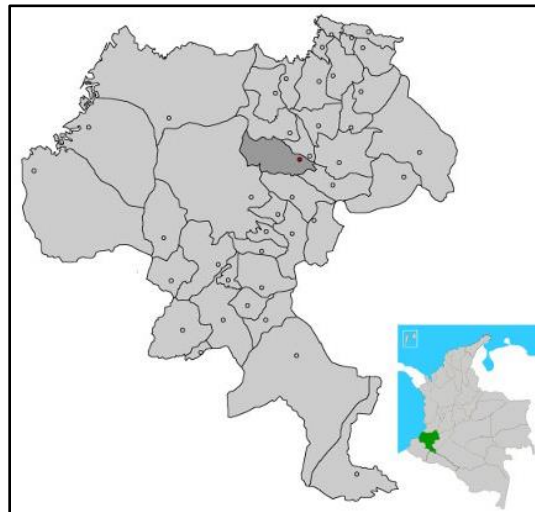
Nota. La figura muestra un diagrama de flujo donde se detallan las generalidades del proceso extractivo asistido por ultrasonido.

2.1. Recepción y preservación de los residuos de café

El día 29 de marzo del 2022, llegan los residuos de café provenientes del municipio Cajibío en el departamento del Cauca ubicado al sur de Colombia, como se puede observar en la *Figura 9*.

Figura 9.

Ubicación del municipio de Cajibío, en el departamento del Cauca (Colombia)



Nota. La figura muestra el mapa del departamento del Cauca ubicado en Colombia, donde se denota con un tono gris profundo el municipio de Cajibío, lugar proveniente de los residuos manejados en este estudio. Tomada de: *Alcaldía Municipal Cajibío Cauca*. (n.d.), from <http://www.cajibio-cauca.gov.co/>. [Acceso: mar.30, 2022].




De esta manera, se reciben los siguientes residuos:

- 1 kilogramo de cáscara fresca (CF), de la especie *Coffea Arabica*
- 1 kilogramo de cáscara deshidratada (CD), de la especie *Coffea Arabica*
- 1 kilogramo de café verde trillado (CVT), de la especie *Coffea Arabica*

Todos los residuos llegaron en perfectas condiciones empacados y sellados al vacío, con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación cruzada, captación de humedad o la proliferación de bacterias fermentativas, que puedan dañar la materia prima. Para mayor especificación, se denota en la *Tabla 7*.

Tabla 7.

Especificaciones de los residuos.

RESIDUO	FECHA DE RECOLECCIÓN (DD/MM/AAA)	ALTURA (MSNM)	VARIEDAD	IMAGEN
Cáscara fresca (CF)	25/03/2022	1730	Caturra	
Cáscara deshidratada (CD)	21/03/2022	1730	Caturra	
Café verde trillado (CVT)	09/02/2022	1730	Caturra	

Nota. La tabla muestra las condiciones del cultivo de los cafetos, la variedad, y la fecha de recolección. Información suministrada por el área de procesos de Supracafe Colombia S.A. entidad encargada del envío de los residuos.

Se procede a confirmar la cantidad recibida de materia prima por parte de Supracafe, un kilogramo de cada residuo. Con el fin de garantizar la preservación y evitar desperdicios, se divide cada residuo en recipientes resellables tipo Ziploc® de 100 gramos por bolsa.

2.2. Pretratamiento de la materia prima

Como parte del pretratamiento, luego del proceso de molienda, se realiza una pre experimentación donde se evalúa la incidencia del diámetro de partícula (D_p) como variable independiente, en el proceso extractivo. Se tienen en cuenta dos tamaños 3,175 mm y 1,850 mm separados con ayuda del Tamiz #4 y Tamiz #10, respectivamente.

2.2.1. Proceso de molienda

Se toma un recipiente de 100 gramos de CD y de CVT, la molienda se realiza en un molino tradicional para granos, marca Corona, el cual se opera manualmente como se representa el montaje en la *Figura 10*.

Figura 10.

Montaje para el proceso de molienda.



Nota. La figura muestra la imagen del montaje para el proceso de molienda.

2.2.2. Proceso de tamizado

Se toman las muestras molidas y se pasan a través de dos tamices consecutivamente, Tamiz #4 y Tamiz # 10, marca ARVAR, operados de manera manual como se representa en la *Figura 11*.

Figura 11.

Montaje para el proceso de tamizado.






Nota. La figura muestra la imagen del montaje para el proceso de tamizado.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en unidades de micras el material retenido por cada tamiz, para la CD:

Tabla 8.

Tamizado de la cáscara deshidratada.




# Tamiz	Abertura [mm]	Dp [mm]	Masa retenida [g]	Fracción másica x_i	Fracción másica acumulada	Imagen
Auxiliar: 3-1/2	5,60	-	-	-	-	-
4	4,75	5,175	18,5	0,1979	0,1979	
10	2,00	3,375	41,0	0,4385	0,6364	
Auxiliar: 12	1,70	1,850	34,0	0,3636	1,0000	
Σ	-	-	93,5	1,0000	-	-

Nota. La tabla muestra los resultados del tamizado de la CD, donde se separó la mayor cantidad en el tamiz 4 y 10, se detalla la masa retenida, la fracción másica correspondiente y una imagen de la muestra.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en unidades de micras el material retenido por cada tamiz, para la CVT:

Tabla 9.

Tamizado del grano verde de trilla.

# De tamiz	Abertura [mm]	Dp [mm]	Masa retenida [g]	Fracción másica X_i	Fracción másica acumulada	Imagen
Auxiliar: 3-1/2	5,60	-	-	-	-	-
4	4,75	5,175	28,5	0,3275	0,3275	
10	2,00	3,375	41,0	0,4713	0,7988	
Auxiliar: 12	1,70	1,850	17,5	0,2012	1,0000	
Σ	-	-	87,0	1,0000	-	-

Nota. La tabla muestra los resultados del tamizado del CVT, donde se separó la mayor cantidad en el tamiz 4 y 10, se detalla la masa retenida, la fracción másica correspondiente y una imagen de la muestra.

En el proceso de tamizado, para la CD un 43,85% del material se retiene después de pasar a través del tamiz #4 con un diámetro de partícula de 3,375 mm, seguido por un 36,36% de material que pasa por el tamiz #10, manejando un diámetro de partícula de 1,850 mm. Del mismo modo, para el CVT un 47,13% del material se retiene después de pasar a través del tamiz #4 con un diámetro de partícula de 3,375 mm, seguido por un 32,75% de material que no alcanza a pasar por el tamiz #4, manejando un diámetro de partícula de 5,175 mm debido a que este residuo es de gran tamaño y dureza, esto evidencia que el proceso de molienda no fue tan efectivo, por lo que no se disminuyó en la totalidad esperada el diámetro de partícula y se considera como pérdidas durante el proceso; Por último, un 20,12% de material que pasa por el tamiz #10, con un diámetro de partícula de 1,850 mm.

Para el proceso extractivo, se plantea un diseño de experimentos (detallado en la sección 2.1.5. *Proceso de extracción asistida por ultrasonido*), donde se toma como variable independiente el diámetro de partícula, con el fin de comparar la incidencia del área superficial contra la cantidad de CPF extraídos, siendo así, se elige para la CD y el CVT, el material tamizado en los diámetros de partícula de 3,375 mm y 1,850 mm.

2.2.3. Proceso de trituración

En este caso, únicamente para el residuo de cascara de café fresca, se toma un recipiente resellable de 100 g de CF, se pasa por un procesador de alimentos de la marca universal modelo 816 y se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado según Median, N [39], que nos permita obtener la mayor cantidad de CPF, en este caso fue necesario una trituración de aproximadamente 5 minutos, como se representa el montaje en la *Figura 12*.

Figura 12.

Montaje para el proceso de trituración.



Nota. La imagen muestra el montaje para el proceso de triturado.

2.3. Determinación de la humedad

Se determinó la humedad de cada residuo tomando la temperatura de trabajo del protocolo de la NTC 2558 [40], donde las muestras se someten en una termobalanza de humedad ADAM® modelo PMB202 a una temperatura de 103°C, se programa el equipo para que guarde los datos del porcentaje de humedad siguiendo la *Ecuación 1* cada intervalo de 3 segundos, y termine la toma de datos en el momento que el peso de la muestra se estabilice con una precisión de 0,01 g.

Figura 13.

Termobalanza de humedad.



Nota. La figura muestra el equipo empleado para la determinación de la húmeda, la termobalanza.

Ecuación 1.

Porcentaje de humedad.

$$\%Humedad = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \times 100 [40]$$

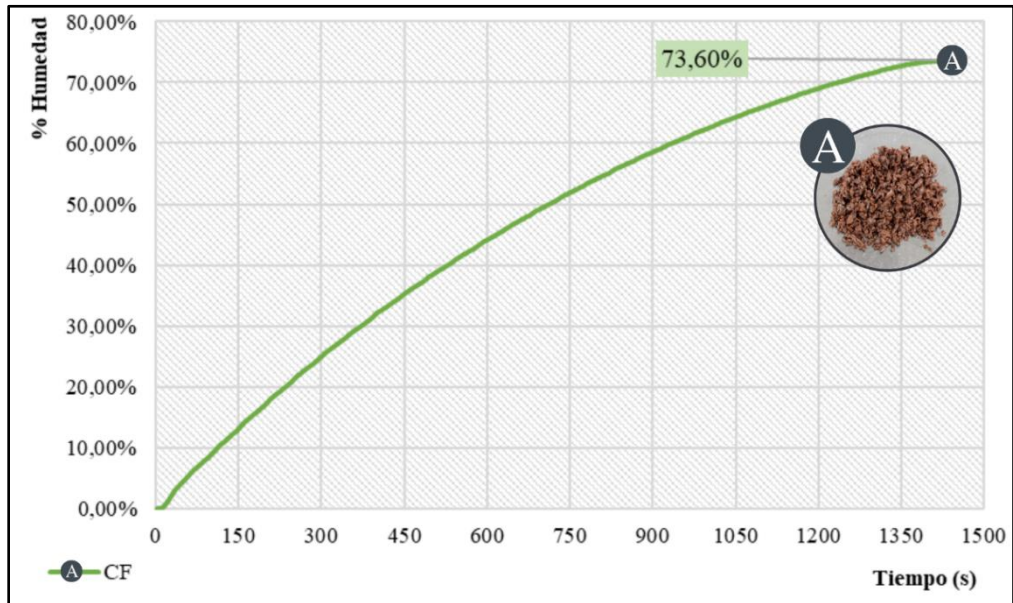
Siendo,

m_0 : Masa con la muestra antes del secado (g)

m_f : Masa con la muestra desecada (g)

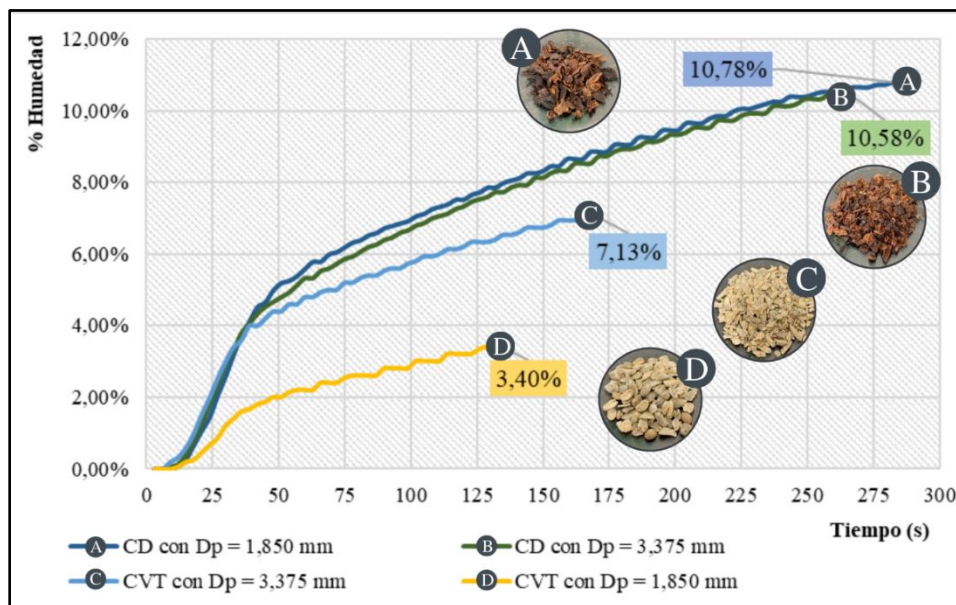
Para todas las muestras se toma una cantidad inicial de 5 gramos, y se realizan 3 réplicas por cada residuo, se toma registro de todos los datos como se observa en los *Anexos 2*; Para los residuos molidos, se divide la prueba en dos por los dos diámetros de partícula seleccionados, a continuación, se grafican las curvas de humedad, para todos los residuos:

Figura 14.
Gráfica de humedad para los residuos frescos de café.



Nota. La figura muestra el gráfico de humedad contra el tiempo para los residuos frescos.

Figura 15.
Gráfica de humedad para los residuos secos de café.



Nota. La figura muestra el gráfico de humedad contra el tiempo para los residuos secos.

Los resultados de los porcentajes de humedad obtenidos se muestran en la Tabla 10, junto con los valores reportados en bibliografía:

Tabla 10.

Porcentaje de humedad de los residuos.

Residuo	Humedad (%)	Humedad teórica (%)
CF	73,60 ± 0,01	> 70 [41]
CD	Dp: 3,375 mm	10,00 -12,00 [42]
	Dp: 1,850 mm	
CVT	Dp: 3,375 mm	3,00 – 4,20 [43]
	Dp: 1,850 mm	

Nota. La tabla muestra los porcentajes de humedad y su comparación con valores teóricos.

De tal forma la determinación de humedad para la CF tiene un porcentaje de humedad aproximado del 73,60% como se observa en la *Figura 14*. lo que significa que se encuentra dentro de la especificación teórica (*Tabla 10*), según Torres-Valenzuela en su artículo titulado “Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática”, reporta la cáscara en estado fresco con un alto contenido de humedad (Superior al 70%) [41].

Para la CD con diámetro de partícula de 3,375 mm el porcentaje de humedad es aproximado a 10,53% y para un diámetro de partícula de 1,850 mm el porcentaje de humedad es aproximado a 10,78% como se observa en la *Figura 15*. Lo que significa que ambas muestras se encuentran dentro de la especificación teórica (*Tabla 10*), según Franco en su trabajo monográfico titulado “Estudio de tiempo vida útil del café instantáneo”, reporta la cáscara en base seca con un contenido porcentual de humedad entre el 10 y 12 [42]. Adicionalmente, se obtienen resultados muy cercanos

con un RSD de 1,67% lo que quiere decir que al modificar su tamaño de partícula, este no altera su cuantificación de humedad.

Finalmente, para el CVT con diámetro de partícula 3,375 mm el porcentaje de humedad es aproximado a 3,40% y para un diámetro de partícula de 1,850 mm el porcentaje de humedad se duplica respecto a la muestra anterior aproximado 7,13% como se observa en la *Figura 15*. Lo que significa que tan solo la muestra con 3,375 mm se encuentra dentro de la especificación teórica (*Tabla 10*), según Clifford en su investigación titulada “La composición de los granos de café verde y tostado”, reporta que el grano verde en base seca contiene un porcentaje de humedad entre el 3,0 y 4,2 [43].

Para la muestra con diámetro de partícula de 1,850 mm como se puede observar en la *Figura 15*. se obtiene el porcentaje de humedad con un aumento aproximado del 2,93% respecto al parámetro teórico, fenómeno atribuido al aumento del área superficial al reducir el diámetro de partícula, según Perry en su libro “Manual del ingeniero químico” describe que los materiales porosos al aumentar su área superficial aumentan la retención de humedad, caso explícito que se presencia en la CD y en el CVT [44]. Lo que quiere decir que al modificar su tamaño de partícula, altera en gran medida su cuantificación de humedad.

2.4. Curva de calibración de ácido gálico (AG)

Antes de iniciar el proceso extractivo, se debe tener en cuenta varios aspectos significativos con el fin de obtener altos rendimientos en toda la operación. En primer lugar, se realiza una curva de calibración de ácido gálico (AG), debido a que este compuesto hace parte del grupo de los ácidos hidroxibenzoicos [21], clasificándolo como un polifenol extraíble (PE) [23], y un tanino soluble en disolventes orgánicos acuosos [45].

Adicionalmente, el AG se emplea como patrón para determinar el contenido de fenoles en base a al proyecto titulado “Un micro método reproducible, rápido y económico de Folin-Ciocalteu para la determinación de compuestos fenólicos de extractos metanólicos de plantas”[3] donde se demuestra la temperatura que dio lugar a mejores resultados fue a 40°C, por tanto, previamente se

debe encender el baño termostato ajustando a dicha temperatura. Asimismo, para la preparación de las disoluciones de AG es importante el lavado y secado riguroso de todo el material.

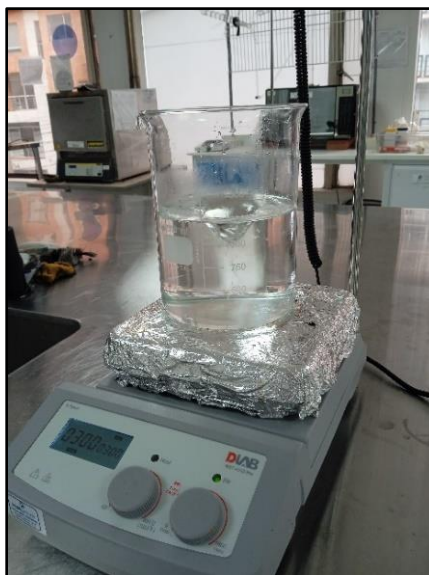
2.4.1. Preparación del disolvente

Según Musalan en su investigación titulada “Evaluación de la actividad coagulante de los polifenoles extraídos de residuos de café (*Coffea arabica*)” [2], para obtener mayores rendimientos de extracción se debe emplear un disolvente con porcentaje volumen-volumen de 50:50 Etanol:Agua.

Siendo así, se prepara dicha solución con ayuda de una probeta graduada de 1000 mL, se miden 600 mL de cada reactivo y se mezclan con ayuda de un agitador magnético a 300 rpm, en una agitadora de placa calefactora magnética marca DLAB modelo MS7-H550-Pro, para obtener una cantidad total de disolvente de 1200 mL, como se puede observar en la *Figura 16* y su respectivo protocolo en el diagrama de flujo del *Anexo 3-1*.

Figura 16.

Montaje para la preparación del disolvente etanol-agua (50:50)



Nota. La figura muestra la imagen del montaje para el proceso de preparación del disolvente.

2.4.2. Preparación de solución stock

Para el planteamiento de la curva de calibración, es necesario preparar una solución estándar de 50 ppm, con el fin de aumentar la precisión; a partir de la cual se toman las alícuotas para las disoluciones restantes. Para ello, se pesan 50 mg de AG aproximadamente en una balanza analítica marca ADAM® modelo NBL214i con ayuda de una micro espátula directamente en un beaker de 50 mL, al cual se agrega disolvente para diluir completamente.

Se lleva a un balón de aforado de 1000 mL lavando cuidadosamente con el disolvente para evitar cualquier pérdida y se afora con la misma solución, la concentración experimental final se calcula a partir de la *Ecuación 2* y se puede observar su respectivo protocolo en el diagrama de flujo del *Anexo 3-2*.

Ecuación 2.

Concentración en ppm (*mg/L*).

$$\text{Concentración} = \frac{m_{sto}}{\text{Dilución 1}} \times \frac{\text{Alícuota 1}}{\text{Dilución 2}} [2]$$

Siendo,

m_{sto} : Cantidad de ácido gálico pesado en (*mg*)

Dilución 1: Volumen del balón aforado de la solución stock en (*mL*)

Alícuota 1: Volumen tomado de la solución stock en (*mL*)

Dilución 2: Volumen del balón aforado para la dilución en (*mL*)

Para los demás puntos de la curva de calibración, se busca preparar disoluciones de 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm como se observan en la *Tabla 11*. Se toman balones aforados de 50 mL, y a partir de la solución stock, se toman las respectivas alícuotas, con ayuda de una pipeta graduada de 10 mL y un pipeteador. Se observa el protocolo del *Anexo 3-3*. y de igual forma se calcula la concentración experimental a partir de la *Ecuación 2*. Se prepara un blanco con el fin de hacer las lecturas en el espectrofotómetro más precisas.

Tabla 11.

Concentración de solución stock y diluciones.

Solución stock						
Ácido Gálico	50,10 mg	Dilución	1000,00 mL	Concentración final	50,10 ppm	
Diluciones						
Alícuota (mL)	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
Dilución (mL)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Concentración (ppm)	0,00	10,02	20,04	30,06	40,08	50,10

Nota. La tabla muestra las concentraciones reales diluciones obtenidas a partir de la solución stock.

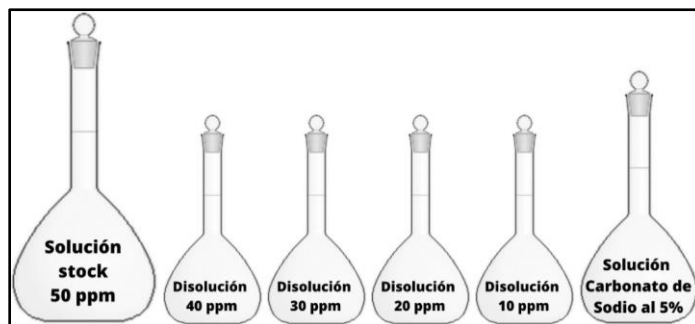
2.4.3. Preparación de solución de carbonato de sodio

Siguiendo la metodología de F-C presentada en la investigación de Cicco, et. Al [3], es necesario que las muestras a cuantificar se encuentren diluidas en un medio alcalino para llevar a cabo el mecanismo de esta reacción. De manera que se prepara una disolución acuosa de carbonato de sodio (Na_2CO_3) a una concentración del 5%. Para ello, se pesan 5 g aproximadamente del reactivo en una balanza analítica marca ADAM® modelo NBL214i con ayuda de una micro espátula, directamente en un beaker de 50 mL con agua desionizada para diluir completamente.

Se lleva cuidadosamente aforo en un balón de 100 mL, finalmente se agita vigorosamente por 2 minutos para obtener una buena disolución de la sal. Se puede observar el protocolo en el diagrama de flujo del *Anexo 3-4*.

Figura 17.

Preparación de solución stock, diluciones y carbonato de sodio al 5%.



Nota. La figura muestra una ilustración de la preparación de la solución stock, diluciones y carbonato sodio preparadas en balones aforados.

2.4.4. Ensayo de Folin-Ciocalteu

Con las cinco diluciones preparadas, el blanco y la solución de carbonato de sodio al 5%, se procede a realizar el ensayo de F-C, para ello se plantea realizar 3 ensayos por cada dilución y 3 lecturas en el equipo por cada uno, dando un total de 15 muestras. Se toman 16 tubos de ensayo completamente secos, uno para el blanco y 15 para las muestras, se marcan de la siguiente manera haciendo referencia a las concentraciones de AG y al número de réplica:

$$10 - 1 \rightarrow (\text{Concentración en ppm}) - (\text{Réplica})$$

Según los resultados presentados en la investigación de Cicco et, Al [3] donde evaluó el tiempo, temperatura, cantidad de muestra, reactivo y álcali; Demuestra que para una metodología reproducible, rápida y económica se debe seguir las siguientes proporciones para un volumen mínimo de muestra final de 2 mL, es decir la cantidad mínima de muestra que se requiere en la celda espectrofotométrica, para realizar la lectura en el espectrofotómetro, como se muestra igualmente en la *Figura 18*.

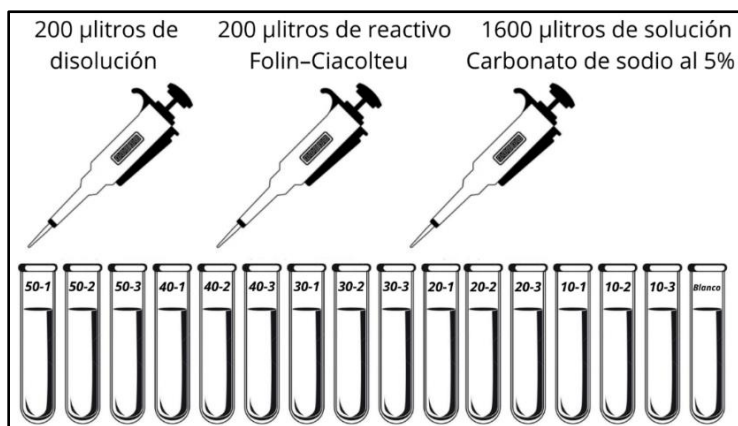
10% de muestra evaluar \rightarrow 200 microlitros

10% de reactivo F-C \rightarrow 200 microlitros

80% de solución (Na_2CO_3) al 5% \rightarrow 1600 microlitro

Figura 18.

Preparación de muestras según metodología de Folin-Ciocalteu.

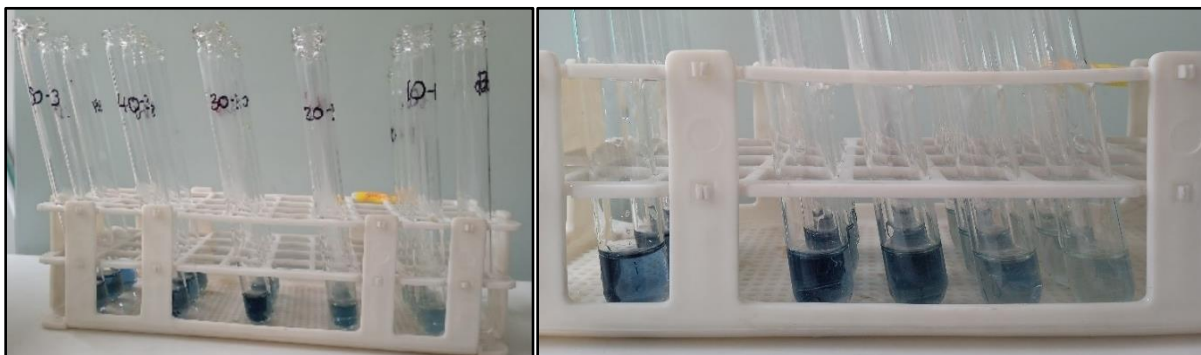


Nota. La figura muestra una ilustración de la preparación de las muestras según metodología de Folin-Ciocalteu para realizar una curva de calibración, con 3 réplicas por punto.

Se llevan los tubos de ensayo en una gradilla al baño termostático marca Techne™ modelo TSD540 previamente calentado a 40 °C durante un tiempo de 30 min. Al finalizar el tiempo se retiran y se dejan enfriar en la misma gradilla hasta temperatura ambiente.

Figura 19.

Ensayo de Folin-Ciocalteu luego de pasar por el baño termostático.



Nota. La figura muestra dos imágenes de los tubos de ensayo empleados para la metodología de Folin-Ciocalteu luego de preparar las muestras y pasarlas por el baño termostático por 30 minutos a una temperatura de 40°C.

2.4.5. Barrido espectral de la solución stock

En primer lugar, se realiza un barrido espectral de la solución stock desde los 410 nm hasta los 980 nm en el espectrofotómetro de UV visible marca JENWAY™ modelo 6320D, con el fin de encontrar la longitud de onda donde se presente la absorbancia máxima, a la cual se lee la absorbancia en el equipo, intercalándolo con la lectura del blanco. Se toma registro de todos los datos como se observa en el *Anexo 4-1* y su respectivo protocolo en el diagrama de flujo del *Anexo 3-5*.

Figura 20.

Espectrofotómetro de UV visible usado para la curva de calibración de AG

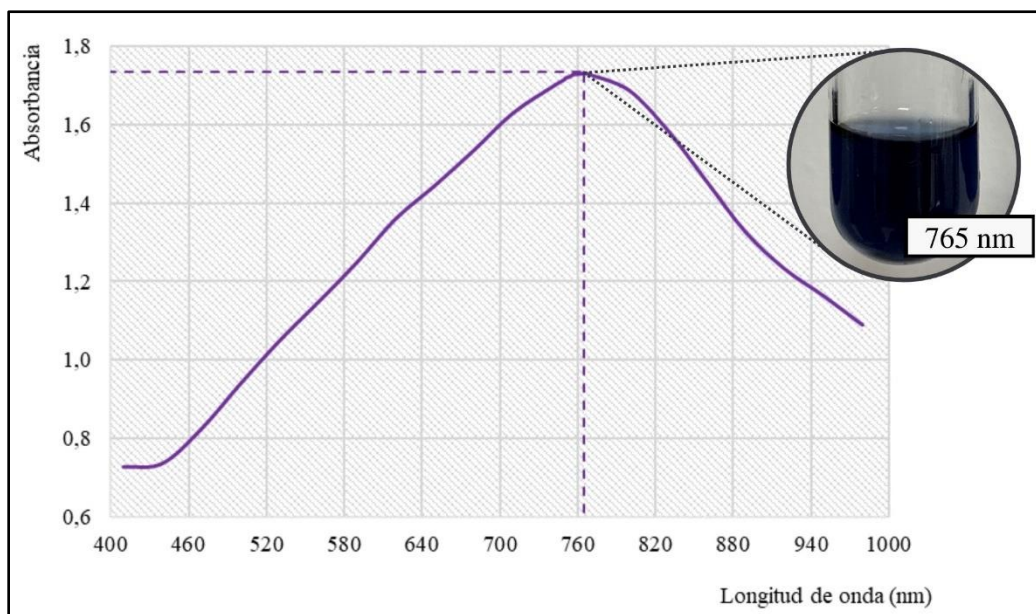


Nota. La figura muestra una imagen del equipo espectrofotómetro utilizado para medir los datos que forman la curva de calibración de ácido gálico.

Como se puede observar, en la *Figura 21*, la mayor absorbancia es de 1,734 en una longitud de onda de 765 nm, aquí se comprueba que la metodología propuesta por Muñoz-Bernal en su investigación titulada “Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales” [24] es verídica, al medir las muestras a una longitud de onda de 765 nm.

Figura 21.

Gráfico de barrido espectral de la solución stock.



Nota. La figura muestra el gráfico de absorbancia contra longitud de onda, donde se presentan los datos obtenidos de las lecturas de la solución stock.

2.4.6. Gráfico de la curva de calibración de AG

Se realizaron las lecturas correspondientes para cada concentración a una longitud de onda de 765 nm establecida en el equipo, se registran todos los datos reportados en el *Anexo 4-2* y se puede observar el protocolo en el diagrama de flujo del *Anexo 3-6*. Con los valores obtenidos se calcula su respectivo promedio y se obtienen los datos que se observan en la *Tabla 12*, a partir de los cuales se grafica la curva de calibración de AG.

Tabla 12.

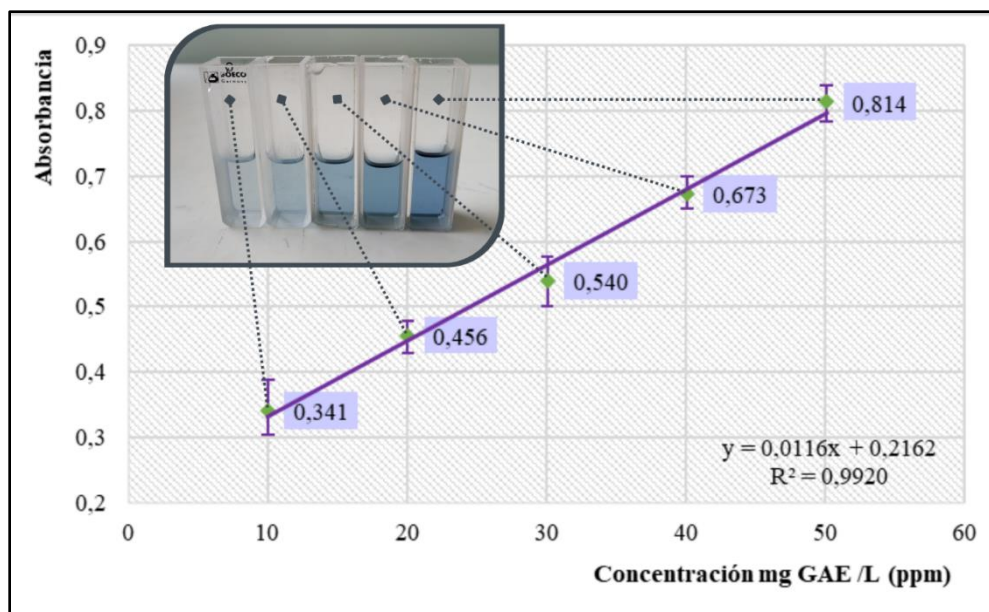
Puntos curva de calibración de AG.

Concentración (ppm)	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
Absorbancia	0,347	0,456	0,540	0,673	0,814

Nota. La tabla muestra los puntos para graficar la curva de calibración de ácido gálico.

Figura 22.

Curva de calibración de AG.



Nota. La figura muestra el gráfico de absorción contra concentración, donde se presentan los puntos obtenidos de las lecturas a diferentes concentraciones, y sus barras de error pertinentes para cada punto.

La ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración con un R^2 de 0,9920 es la siguiente:

Ecuación 3.

Ecuación de la recta de la curva de calibración de AG.

$$y = 0,0116 x + 0,2162$$

Siendo,

y: Absorbancia

x: Equivalente a concentración de ácido gálico (GAE) en miligramos sobre litro (ppm)

Con esta ecuación se determina la concentración de los CPF en miligramos de GAE por litro despejando el valor de (x), así se evaluará la cantidad presente de estas sustancias en los residuos de CD, CF y CVT.

2.5. Proceso de extracción asistida por ultrasonido

Siguiendo la metodología planteada por Musalan [2], donde evaluó el proceso extractivo de CPF mediante maceración comparándolo contra la asistencia por ultrasonido, comprobó que empleando el baño de ultrasonido a una frecuencia de 40 KHz por 30 minutos con un disolvente Etanol:Agua (50:50), se logra la mayor concentración de CPF en el extracto. De esta manera, se eligen estas condiciones de operación para abordar una pre experimentación y por siguiente plantear un diseño de experimentos que involucre los tipos de residuo y la cantidad de CPF obtenidos.

2.5.1. Pre experimentación vía húmeda

Con el fin de dar un primer acercamiento, se plantea una pre experimentación tomando el residuo de cáscara fresca (CF) como muestra a evaluar, los ensayos y las lecturas de absorbancia se realizan de igual manera por triplicado, dando un total de 9 ensayos.

Para el proceso extractivo es necesario conocer previamente la relación sólido-líquido, según el estudio de Al-Dhabi, et. Al [46], titulado “Desarrollo y validación de la extracción sólido-líquido asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos a partir de desechos de café molido”, determinaron que, la relación máxima de sólido-solvente debe ser 1:25 (g:mL) para obtener mayores concentraciones de CPF.

De esta forma, se mantiene una relación de 1:20 (g:mL) para el proceso extractivo, siendo así, se pesan 10 g aproximadamente del residuo (CF) en un recipiente ámbar previamente tratado con capacidad de 250 mL y se adicionan 200 mL del disolvente Etanol:Agua (50:50) previamente preparado.

A continuación, la muestra se coloca en el baño de ultrasonido marca WiseClean modelo WUC-D06H a una frecuencia de 40 KHz durante 30 minutos, como se representa en el montaje de la *Figura 23*.

Figura 23.

Montaje de extracción asistida por ultrasonido.



Nota. La imagen muestra el equipo de ultrasonido.

2.5.2. Filtración al vacío

Para proceder a retirar las partículas grandes de la fase de líquida de interés que contiene los PE. Se realiza el proceso de filtración al vacío con ayuda de una bomba de vacío marca VACUUBRAND modelo MZ2CNT y un embudo Büchner con papel filtro, el líquido se recoge en un matraz Kitasato como se representa en el montaje de la *Figura 24*.

Figura 24.

Montaje de filtración al vacío.



Nota. La imagen muestra el montaje de filtración al vacío.

2.5.3. Recuperación del disolvente

Con el fin de purificar el extracto polifenólico y separarlo del medio que facilito la extracción, es decir el disolvente. Se realiza una destilación a la fase liquida previamente separada. Se coloca la muestra en un equipo rotaevaporador de marca Heidolph™ modelo Basis Hei-Vap Precisión HL, como se representa el montaje en la *Figura 25*. bajo condiciones de operación 1 mBar de presión, 60 rpm de agitación y 60 °C de temperatura durante aproximadamente 2 horas, todo el proceso extractivo, está detallado en el diagrama de flujo del *Anexo 5-1*.

Figura 25.

Montaje para la recuperación del disolvente.



Nota. La imagen muestra el montaje de destilación en el equipo de rotaevaporación.

Finalmente, se procede a realizar la cuantificación de AG, mediante la metodología Folin-Ciocalteu descrita anteriormente (2.1.4.4. *Ensayo metodología Folin-Ciocalteu*) y detallada en el protocolo que representa el *Anexo 5-2*, es importante destacar que, debido a la gran concentración de AG en el residuo, para que sea posible su lectura en el espectrofotómetro, es necesario realizar una dilución volumétrica de 100 μ L de muestra en 2000 μ L de disolvente, es decir, un porcentual volumétrico de (1:20), éste dato se debe tener en cuenta igualmente para hallar posteriormente la cantidad exacta de AG presente en la muestra de residuo de café.

Todos los datos se encuentran reportados en el *Anexo 6-1* y con la *Ecuación 3* que se obtiene de la curva de calibración de AG, se calcula la concentración de CPF. Adicionalmente, se presenta un balance masa de todo el proceso extractivo en el *Anexo 7-1*, del cual se deduce la *Ecuación 4* para la cantidad de AG en base seca:

Ecuación 4.

Concentración de ácido gálico en base seca.

$$\frac{mg\ GAE}{g\ café\ seco} = \frac{mg\ GAE}{L} \times \frac{Volumen\ de\ muestra\ final\ (L)}{Muestra\ café\ inicial\ (g) \times (1 - \% Humedad\ muestra\ café)} \quad [27]$$

Igualmente, se presenta una tabla resumen a continuación, con la concentración de CPF obtenidos de la cáscara fresca:

Tabla 13.

Composición de fenoles totales del residuo de cáscara fresca (CF)

N° de Ensayo	Absorbancia	Concentración total de CPF	Concentración total de CPF
		mgGAE / L	mgGAE / gBS
Ensayo 1	0,682	842,65	7,98
Ensayo 2	0,675	829,98	7,86
Ensayo 3	0,676	833,01	7,88
PROMEDIO	0,678 ± 0,004	835,21 ± 6,62	7,91 ± 0,06

Nota. La tabla muestra los resultados de la extracción vía humedad, y al final muestra el promedio de esta junto con la desviación estándar.

2.5.4. Análisis de resultados pre experimentación base humedad

Con el fin de caracterizar el extracto de la CF antes y después de una purificación, se realiza una cuantificación de CPF respecto a la metodología base descrita en la sección 2.1.4.4. *Ensayo metodología Folin-Ciocalteu* y detallada en el protocolo que representa el *Anexo 5-2*. Se obtiene 0,431 de absorbancia en promedio, lo que significan 3,794 mg GAE / g BS, que comparada con la concentración final de 0,678 absorbancia en promedio lo que se traduce en 7,909 mg GAE / g BS.

Se evidencia un aumento del 52,02% los que representa un poco más de la mitad de la concentración inicial, comprobando la importancia de un proceso de purificación, en este caso una destilación al vacío y consecuente recuperación de disolvente descrito en la sección 2.1.5.3 *Recuperación del disolvente*; Sin embargo, debido a la cantidad mínima obtenida de tan solo 25 mL (*Anexo 7*) en base húmeda, se comprueba que por esta vía se generan un rendimiento del 15,15% lo que no sería viable para una implementación.

2.6. Diseño de experimentos proceso extractivo

Luego de observar los resultados obtenidos en la pre experimentación, se propone un diseño de experimentos aplicando las mismas condiciones del proceso detalladas en el *Anexo 5-1* y *Anexo 5-2*.

Se toma como variable dependiente el tipo de residuo a evaluar con 2 niveles (CD y CVT), una variable de independiente el diámetro de partícula obtenidos del proceso de tamizado con 2 niveles (D_{p1} : 3,375 mm y D_{p2} : 1,850 mm) y como variable de respuesta se toma la concentración de CPF totales en mgGAE/gBS con 3 réplicas, resultando así un diseño factorial 2^2 , siendo un total de 12 ensayos para el diseño experimental formulado, como se muestra en *Tabla 14*.

Tabla 14.

Planteamiento del diseño de experimentos proceso extractivo.

Residuo	Cáscara deshidratada		Café verde de trilla	
	Dp ₁ = 3,375	Dp ₂ = 1,850	Dp ₁ = 3,375	Dp ₂ = 1,850
Ensayo 1	CD-1A	CD-1B	CVT-1A	CVT-1B
Ensayo 2	CD-2A	CD-2B	CVT-2A	CVT-2B
Ensayo 3	CD-3A	CD-3B	CVT-3A	CVT-3B

Nota. La tabla muestra el planteamiento del diseño de experimentos para el proceso extractivo de los dos diferentes tipos de residuos secos, asistido por ultrasonido.

Figura 26.

Preparación de muestras con residuos de café.



Nota. La imagen muestra de los ensayos previos a la extracción.

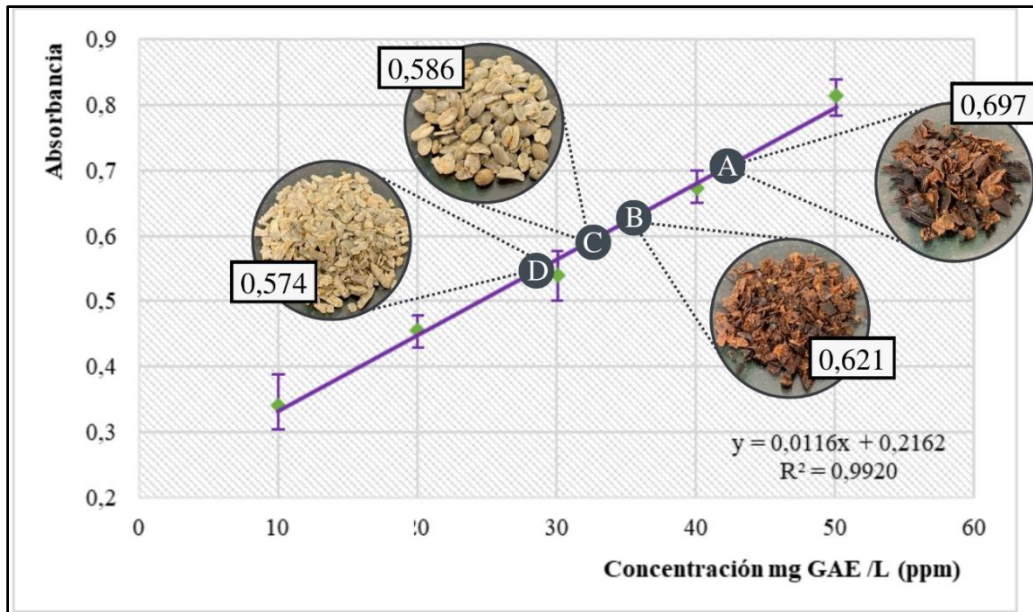
2.6.1. Resultados del proceso extractivo

Se ejecutan cada uno de los ensayos correspondientes, como se observan en la *Figura 26.* y se presenta el balance de materia de todo el proceso para ambos residuos (CD y CVT) en el *Anexo 7-2* y *Anexo 7-3*. Por otro lado, se toma registro de todos los datos obtenidos, se reportan en el *Anexo*

6-2 y se presenta un compendio en la el Anexo 6-3, del mismo modo, se presenta en la Figura 27, un gráfico que muestra los resultados reportados.

Figura 27.

Resultados obtenidos CPF totales del diseño de experimentos.



Nota. La figura muestra la curva de calibración con ácido gálico, junto con la medida de la absorbancia de los extractos obtenidos del diseño de experimentos planteado, donde A: Cáscara deshidratada con diámetro de partícula 3,375 mm, B: Cáscara deshidratada con diámetro de partícula 1,850 mm, C: Café verde de trilla con diámetro de partícula 3,375 mm, D: Café verde de trilla con diámetro de partícula 1,850 mm.

2.6.2. Análisis de resultados diseño de experimentos del proceso extractivo

En primer lugar, se debe tener en cuenta un grado de veracidad de los datos de acuerdo al tipo de error puede ser de humano en cuanto a la ejecución o instrumental debido a la calibración de los equipos o instrumentos de medición.

Para la curva de calibración se calcularon las concentraciones experimentales calculados en la Tabla 11, las cuales generaron un porcentaje error de tan solo 0,2% comparado a partir del peso teórico del reactivo de referencia (AG) lo que se encuentra contemplado dentro del grado de

exactitud de la balanza, así como de los demás instrumentos utilizados, como la pipeta graduada y los balones aforados.

La determinación de la longitud de onda máxima experimental a la cual se realizan las lecturas de absorbancia para cada una de las disoluciones reportadas en el *Anexo 4-2*. Se obtiene a partir de la solución stock a 50 ppm de AG, con un rango amplio del espectro visible desde los 410 nm a 910 nm, como se registran los datos por triplicado en el *Anexo 4-1* se logra la gráfica de la *Figura 21* en la cual se evidencia el pico más alto en 765 nm con una desviación estándar promedio entre los datos de las réplicas de 0,0015, se comprueba lo establecido teóricamente para la metodología de Follin-Ciacolteu [3]. De manera análoga se evalúa lo que sería una mejor homogenización de la muestra o las variables de operación utilizadas, de tan solo 30 minutos en el baño termostataado a una temperatura de 40 °C constante, siguiendo las proporciones de 20% de muestra, 20% de reactivo F-C y 60% de medio álcali (Carbonato de Sodio), proporcionando la posibilidad de ajustarlo al volumen mínimo de reactivos (2 mL) para la celda del espectrofotómetro utilizado.

Se realizan 3 réplicas o ensayos por punto de la curva de calibración y 3 lecturas en el espectrofotómetro, como otra forma de aumentar la precisión de los resultados reportados en el *Anexo 4-2*, obteniendo una desviación estándar promedio de los datos de 0,009 que permite obtener una gráfica con un coeficiente de determinación R^2 de 0,9920 muy cercano a 1 (*Figura 22*), lo que significa los datos se adjuntan al modelo y predice resultados confiables.

2.6.3. ANOVA proceso extractivo por ultrasonido

Para determinar la influencia de las variables escogidas en concentración de mg GAE/BS representa la cantidad de CPF obtenidos, se realizó el análisis estadístico con los datos de la *Tabla 15*. aplicando el análisis de la varianza ANOVA para dos factores (Diámetro de partícula y tipo de residuo) con dos niveles respectivamente (1.850 y 3.75; Cascara deshidratada y Grano verde), es decir un arreglo estadístico 2^2 con un nivel de significancia de 0.05, es decir una confiabilidad de resultado del 95%.

Tabla 15.

Concentración total de CPF en base seca.

Residuo	Cáscara deshidratada		Café verde de trilla	
	Dp ₁ = 3,375	Dp ₂ = 1,850	Dp ₁ = 3,375	Dp ₂ = 1,850
Ensayo 1	8,206	6,209	6,528	5,569
Ensayo 2	8,287	7,544	5,933	5,585
Ensayo 3	8,373	4,691	5,222	5,695

Nota. La tabla muestra los datos de la concentración en base seca, que son evaluados en el ANOVA.

Sin embargo, a la hora de la cuantificación del extracto a través de la metodología de Folin-Ciocalteu [3], se observa que los resultados de la CD con diámetro de partícula de 1,850 mm tienen una desviación estándar relativa de 23,22, seguido por el CVT con diámetro de partícula de 3,375 mm con una 11,10 lo que es altamente considerable.

Los ensayos restantes acordaron una desviación menor a 2, se obtuvo 0,23 para el CVT con diámetro de partícula de 1,850 mm junto con la menor cantidad en promedio de CPF (5,583 mg GAE/g BS) y 1,01 para la CD con diámetro de partícula de 3,375 mm junto con la mayor cantidad en promedio de CPF (8,288 mg GAE/g BS), siendo esta última la que se escoge con la mayor cantidad de CPF para su uso como coagulante en los colorantes azoicos. De igual forma se observa el fenómeno respecto a la variación del diámetro de partícula tomada como variable independiente pues bien los resultados indican que entre mayor sea la superficie mayor será su capacidad de absorción del disolvente y su la extracción asistida por ultrasonido.

Tabla 16.

Análisis de la varianza para extracción por ultrasonido.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	6,568	1,000	6,568	10,625	0,012	5,318
Diámetro de partícula	4,507	1,000	4,507	7,292	0,027	5,318
Interacción	2,510	1,000	2,510	4,061	0,079	5,318
Dentro del grupo	4,945	8,000	0,618			
Total	18,530	11,000				

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de un análisis ANOVA con 2 factores y 2 niveles.

Al realizar el análisis ANOVA resulta la F calculada es mayor que la F crítica para las dos variables escogidas, lo que indica que hay diferencia significativamente estadística entre cada uno de los diámetros de partícula y el tipo de residuo para la obtención cuantitativa de CPF. Sin embargo, según la probabilidad de interacción, de igual forma la F calculada es mayor que la F crítica, lo que indica que la interacción entre las dos variables es prácticamente igual dentro de las cuatro posibles combinaciones.

3. O.E.2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE DEL EXTRACTO FENÓLICO SOBRE LA REMOCIÓN DE COLORANTES AZOICOS

Con el fin de evaluar el coagulante polifenólico del residuo escogido, se decide preparar 1 Litro de extracto, siguiendo la metodología descrita en la sección 2.1.5 *Proceso de extracción asistida por ultrasonido*, usando solamente la CD como materia prima, con un diámetro de partícula de 3,375 mm. De esta manera, se presenta el balance de masa en el *Anexo 7-4*, junto con su respectiva cuantificación de AG, todos los resultados se encuentran reportados en el *Anexo 8-1* y un resumen de los datos promedio en la *Tabla 17*.

Tabla 17.

Composición de fenoles totales del residuo de cáscara deshidratada (CD)

N° de Ensayo	Absorbancia	Concentración total de CPF	Concentración total de CPF
		mgGAE / L	mgGAE / gBS
Ensayo 1	0,603	700,84	6,98
Ensayo 2	0,598	690,59	6,87
Ensayo 3	0,606	705,67	7,02
PROMEDIO	0,602 ± 0,004	699,03 ± 7,70	6,96 ± 0,08

Nota. La tabla muestra los resultados de la extracción a mayor escala y al final muestra el promedio de esta junto con la desviación estándar.

El extracto obtenido de este proceso, será el evaluado en el desarrollo de este capítulo *OE2* y *OE3*, por esta razón es necesario saber la concentración de CPF totales de esta nueva extracción, con un aproximado de 699,03 mgGAE/L, para una cantidad total de 888 mL de extracto. Con esta cantidad se realiza de igual manera una caracterización, por tanto se halla la densidad con un densímetro de marca LABSCIENT modelo 7104-1A el resultado es 0,99 g/mL y con ayuda de un potenciómetro marca APERA INSTRUMENTS modelo pH700 se obtiene un pH de 5,48.

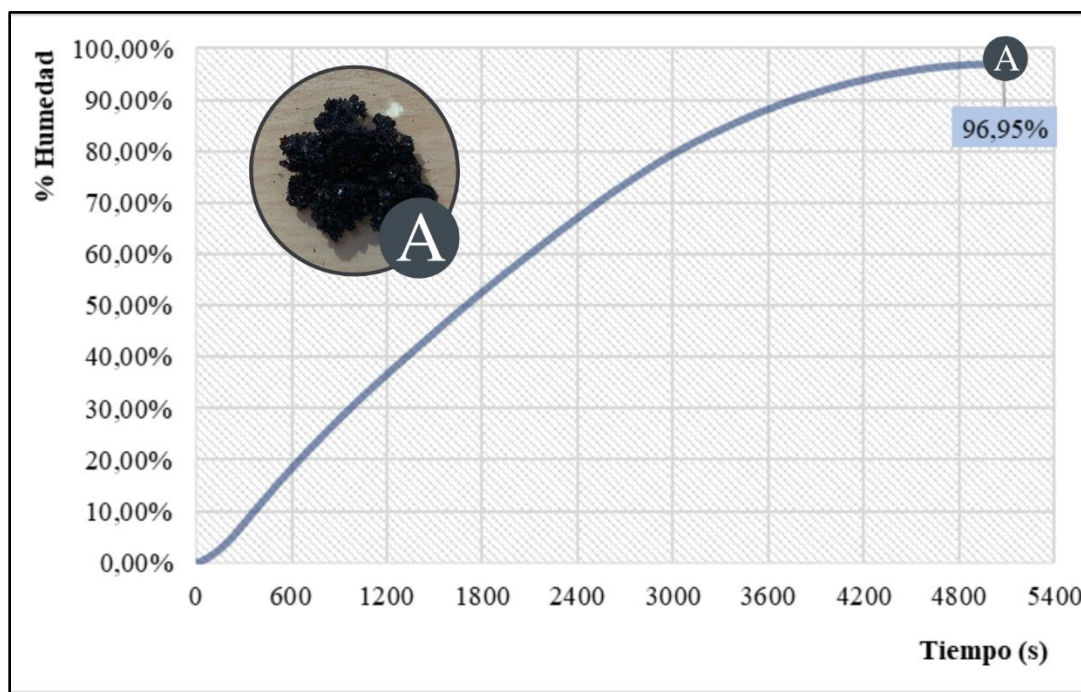
Al disolvente recuperado que contiene los mismos componentes de la fase acuosa (Etanol:Agua) preparada, se le mide el grado de alcohol con un alcoholímetro de vidrio marca BOECO modelo ZL-1021, el resultado es 48% según la escala de Gay Lussac, haciendo posible una reincorporación al proceso de extracción aumentando la sostenibilidad de la producción del coagulante natural, alcanzando el quinto principio de la química verde [47], como una tendencia moderna y ecológica.

Finalmente, el extracto es llevado a base seca en una termobalanza de humedad ADAM® modelo PMB202 a una temperatura de 70°C, se programa el equipo para que guarde los datos del porcentaje de humedad siguiendo la *Ecuación 1* cada intervalo de 5 segundos, y termine la toma de datos en el momento que el peso de la muestra se estabilice con una precisión de 0,01 g.

Se realiza la determinación de humedad por triplicado (*Figura 28*), con ayuda de una pipeta graduada se toma una cantidad inicial de 20 mililitros y se toma registro de todos los datos como se observa en el *Anexo 15-1*.

Figura 28.

Gráfica de humedad para coagulante natural.



Nota. La figura muestra el gráfico de humedad contra el tiempo para el coagulante natural.

3.1. Barrido espectral colorantes azoicos

Para evaluar la actividad coagulante, es necesario conocer la variación de longitud de onda en un rango establecido del espectro, de los colorantes azoicos amarillo ácido #36 (CA-36) y rojo ácido #88 (CR-88); De esta manera, se prepara una disolución acuosa de 100 ppm para cada uno de los colorantes, se pesan 100 mg del colorante con ayuda de una micro espátula directamente en un beaker de 50 mL en una balanza analítica marca OHAUS® modelo PA224, al cual se agrega agua desionizada para diluir completamente, se lleva a un balón de aforado de 1000 mL lavando cuidadosamente con el disolvente para evitar cualquier pérdida y se afora con la misma, para leer la absorbancia por triplicado, intercalando con el blanco, en este caso será agua desionizada, en el espectrofotómetro marca Thermo Fisher Scientific modelo GENESYS 30.

Figura 29.

Espectrofotómetro de UV visible usado para la evaluación de remoción de color.

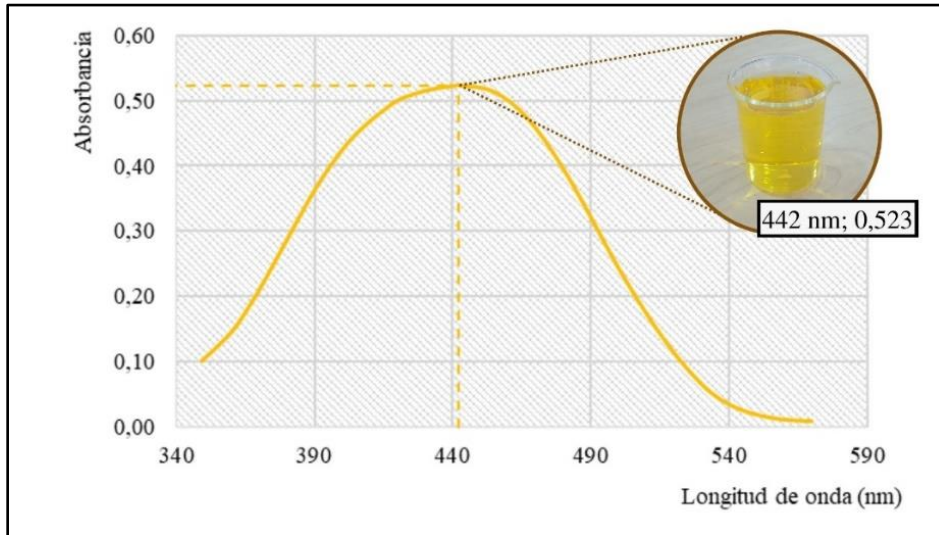


Nota. La figura muestra una imagen del equipo espectrofotómetro utilizado para medir los datos para el cálculo de la remoción de color en las aguas tinturadas.

Se realiza el gráfico correspondiente para cada uno de los colorantes azoicos, para detallar el comportamiento de la muestra como se observa en la *Figura 30 y 31*.

Figura 30.

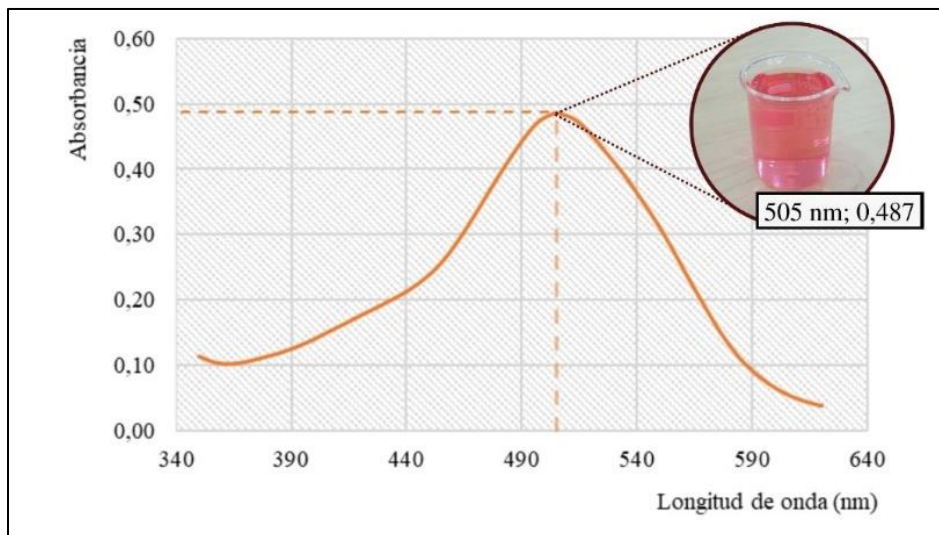
Barrido espectral del colorante azoico amarillo ácido # 36.



Nota. La figura muestra el gráfico de absorbancia contra longitud de onda, donde se presentan los datos obtenidos de las lecturas del barrido espectral del CA-36.

Figura 31.

Barrido espectral del colorante azoico rojo ácido # 88.



Nota. La figura muestra el gráfico de absorbancia contra longitud de onda, donde se presentan los datos obtenidos de las lecturas del barrido espectral del CR-88.

Como se puede observar, en la *Figura 30* para el CA-36 la absorbancia máxima experimental es de 0,523 en una longitud de onda de 442 nm, que comparado con el valor indicado en la ficha técnica en el *Anexo 1-1* es próximo a 440 nm. Igualmente, en la *Figura 31* para el CR-88 la absorbancia máxima experimental es de 0,487 en una longitud de onda de 505 nm, que comparado con el valor indicado en la ficha técnica en el *Anexo 1-2*. es cercano a 500 nm.

3.2. Pre experimentación dosis mínima de coagulación y variación de pH

Con el fin de evaluar la actividad coagulante, se plantea una pre experimentación donde se busca encontrar una dosis mínima de extracto que presente partículas en coagulación a un pH adecuado, para encontrar un rango óptimo. Para ello, se prepara una dilución a 25 ppm para cada uno de los colorantes, se pesan 25 mg con ayuda de una micro espátula directamente en un beaker de 50 mL en una balanza analítica marca OHAUS® modelo PA224, al cual se agrega agua desionizada para diluir completamente, se lleva a un balón de aforado de 1000 mL lavando cuidadosamente con el disolvente para evitar cualquier pérdida y se afora con la misma. A continuación, con ayuda de una probeta se agregan 100 mL de cada dilución en beaker de 250 mL, con un total de 10 muestras, 5 para cada colorante.

3.2.1. Determinación del volumen de coagulante

Para conocer la concentración de extracto en la dilución coloreada, se emplea la siguiente ecuación, donde relaciona los volúmenes del extracto con los volúmenes del colorante y sus concentraciones.

Ecuación 5.

Determinación del volumen de coagulante.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Siendo, C_1 : Concentración de CPF en el extracto (mgGAE/L): **699,03 mgGAE/L**

V_1 : Volumen de extracto (mL): χ

C_2 : Concentración de CPF en la solución con colorante (mgGAE/L): **15 mgGAE/L**

V_2 : Volumen de solución con colorante (mL): **100 mL**

Según la investigación de Musalan [2], en el momento que se presentó coagulación fue con una concentración de CPF en la solución con colorante de 42,60 mgGAE/L, siendo así, se procede a tomar una concentración menor como base de cálculo de 15 mgGAE/L inicialmente.

Es decir, despejando de la *Ecuación 5*, el volumen de extracto (V_1), se agregan 2,15 mL (2150 μ L) de extracto para evaluar la presencia de coloides.

3.2.2. Variación del pH

Se emplea hidróxido de sodio ($NaOH$) diluido al 0,25 M y ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido al 0,1 N para obtener cinco rangos de pH, como se demuestra en la *Figura 33*, usando un potenciómetro marca APERA INSTRUMENTS modelo pH700 (*Figura 32*).

Figura 32.

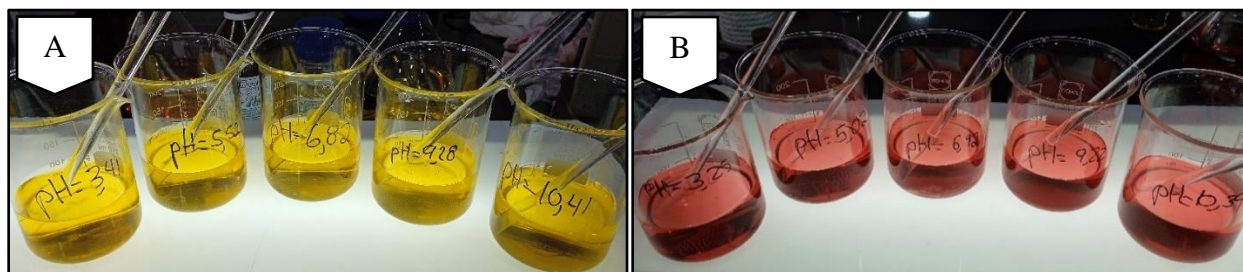
Medidor de pH usado para la variación del pH en las muestras coloreadas



Nota. La figura muestra una imagen del equipo utilizado para medir el pH.

Figura 33.

Pre experimentación dosis mínima de coagulación y variación de pH

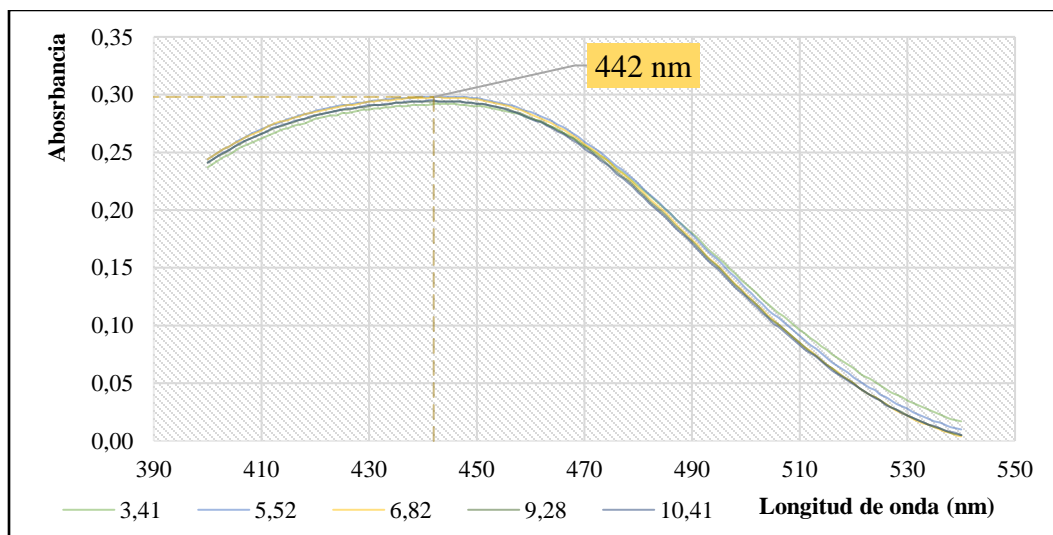


Nota. La figura muestra el montaje para la pre experimentación de la evaluación del coagulante natural. En la imagen (A) se muestra el montaje para el CA-36, y en la imagen (B) se muestra el montaje para el CR-88.

De esta manera, se realiza un barrido espectral a cada una de las muestras, se registran los datos en el *Anexo 10-1* y *Anexo 10-2* para ambos colorantes y se grafican respectivamente como se observa en la *Figura 34* y *Figura 35*, para observar si hay alguna variación en la longitud de onda máxima que genere el cambio el cambio del pH.

Figura 34.

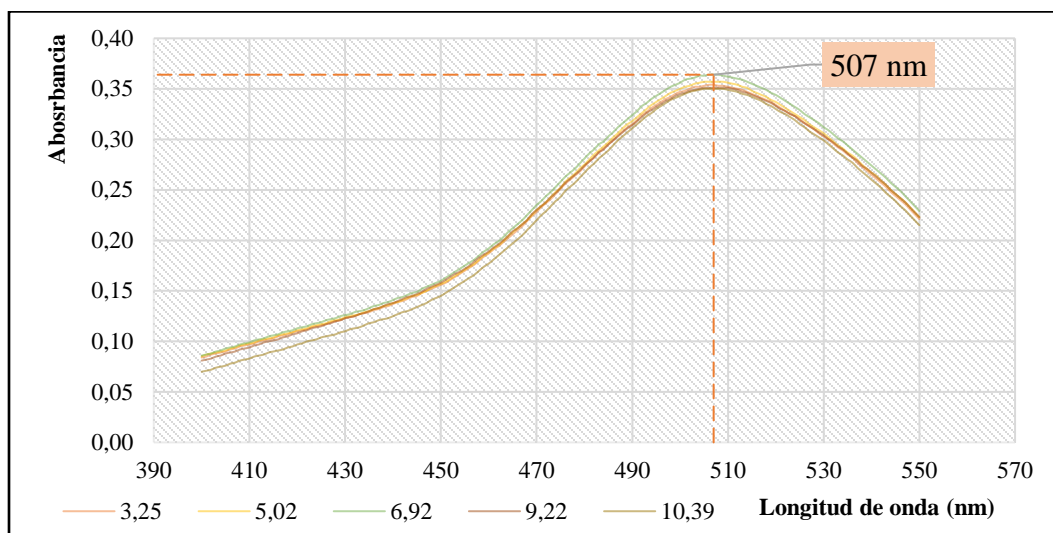
Barrido espectral con variación de pH para el colorante azoico amarillo ácido # 36.



Nota. La grafica muestra el barrido espectral con variación de pH para el CA-36.

Figura 35.

Barrido espectral con variación de pH para el colorante azoico rojo ácido # 88.



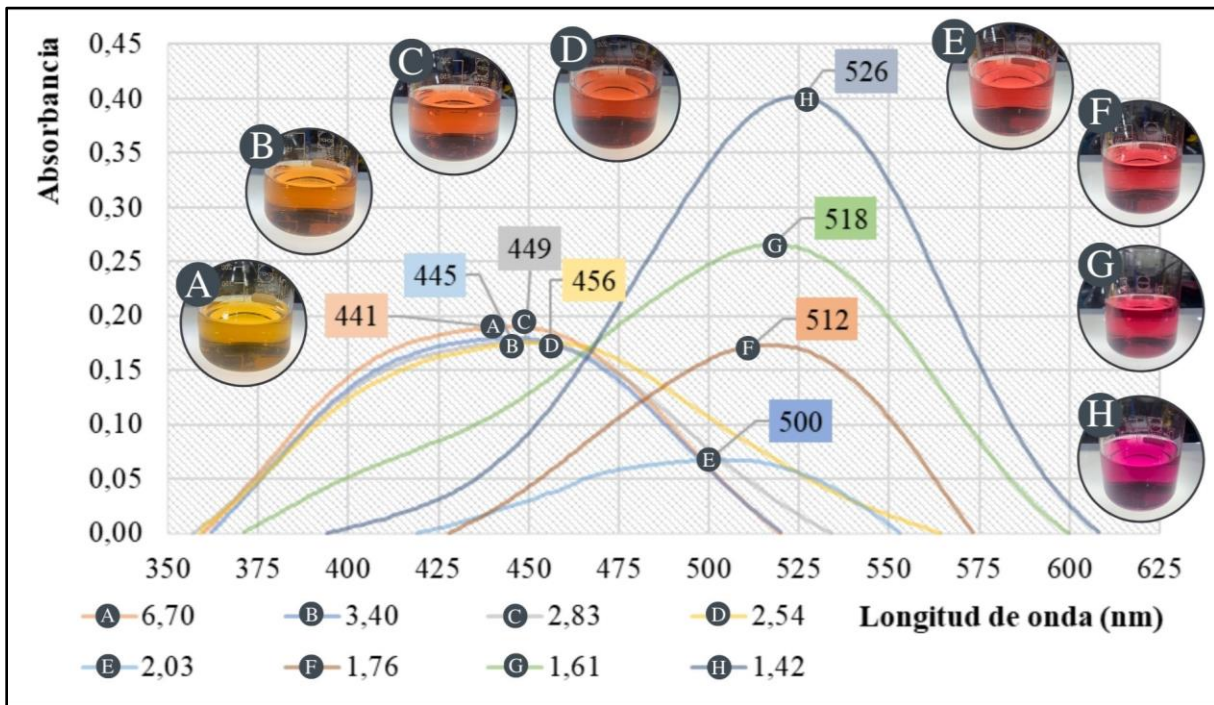
Nota. La grafica muestra el barrido espectral con variación de pH para el CR-88.

Como se puede observar, en un rango de pH de 3,41 a 10,41 para el CA-36 la longitud de onda máxima es 442 nm para las 5 muestras, así como para el CR-88 en un rango de pH de 3,25 a 10,39 longitud de onda máxima es 507 nm para las 5 muestras.

Por otro lado, se realiza una variación de pH en un rango menor a 3,41 para el colorante azoico amarillo ácido #36; el color amarillo representativo de este colorante inicia a tornarse a un color rojizo y luego un tono violeta, de esta manera, se presenta a continuación en la *Figura 36* donde se muestran imágenes de las diferentes variaciones de pH a las que se les realiza un barrido espectral para encontrar la mayor absorbancia y el cambio longitud de onda correspondiente, los datos se registran en el *Anexo 10-3*.

Figura 36.

Tonalidades del colorante azoico amarillo ácido # 36 por la variación de pH.



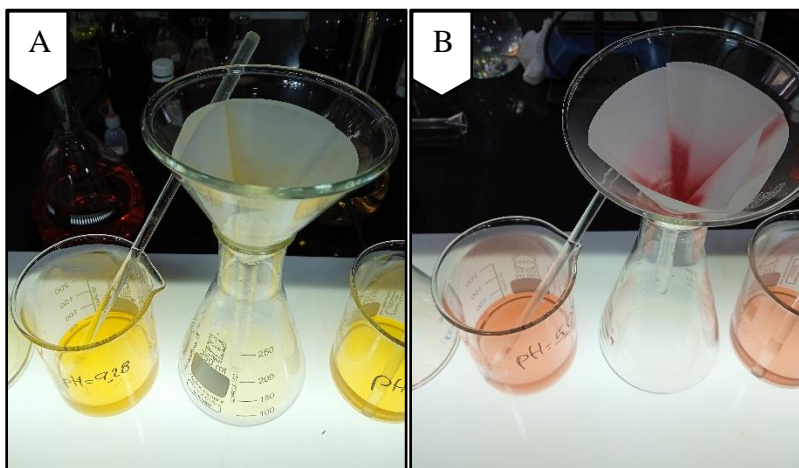
Nota. La grafica muestra los barridos espectrales con variación de pH para el CA-36, donde la imagen (A) representa el agua coloreada con un pH de 6,70, en la imagen (B) representa el agua coloreada con un pH de 3,40, en la imagen (C) representa el agua coloreada con un pH de 2,83, en la imagen (D) representa el agua coloreada con un pH de 2,54, en la imagen (E) representa el agua coloreada con un pH de 2,03, en la imagen (F) representa el agua coloreada con un pH de 1,76, en la imagen (G) representa el agua coloreada con un pH de 1,61 y en la imagen (H) representa el agua coloreada con un pH de 1,42.

3.2.3. Filtración de coloides

Se puede observar en esta primera experimentación, con una dosis de 15 mg GAE/L se denota la presencia de coloides de bajo tamaño, de esta manera, se procede a realizar el montaje experimental de filtración con un embudo y un Erlenmeyer empleando papel filtro cuantitativo como se muestra en la *Figura 37*, con el fin de determinar la diferencia de color aparente y el cambio de la turbidez.

Figura 37.

Montaje filtración de coloides.



Nota. La figura muestra el montaje para la filtración de los coloides presentes en las aguas con colorante, en la imagen (A) se observa el montaje para el CA-36, y en la imagen (B) se observa el montaje para el CR-88.

3.2.4. Evaluación de la actividad coagulante del extracto natural

Para evaluar cuantitativamente la remoción del color, se emplea mediante espectrofotometría visible con el espectrofotómetro marca Thermo Fisher Scientific modelo GENESYS 30 (Figura 29). Asimismo, para visualizar la presencia de coloides, se emplea la técnica nefelométrica, donde se mide la turbidez mediante en un turbidímetro marca MERCK modelo TURBIQUANT 1100 IR (Figura 38), aplicando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6.

Cálculo del porcentaje de remoción de color.

$$\% \text{ Remoción de color} = \frac{Abs_0 - Abs_f}{Abs_0} \times 100 [2]$$

Siendo,

Abs_0 : Absorbancia inicial antes de agregar el coagulante

Abs_f : Absorbancia final después del proceso de filtrado

Ecuación 7.

Cálculo del porcentaje de remoción de la turbidez.

$$\%Turbidez = \frac{Turb_0 - Turb_f}{Turb_0} \times 100 \quad [2]$$

Siendo, $Turb_0$: Turbidez inicial antes del proceso de filtrado

$Turb_f$: Turbidez final después del proceso de filtrado

Figura 38.

Turbidímetro usado para la evaluación de remoción de turbidez.



Nota. La figura muestra una imagen del equipo utilizado para medir la turbidez.

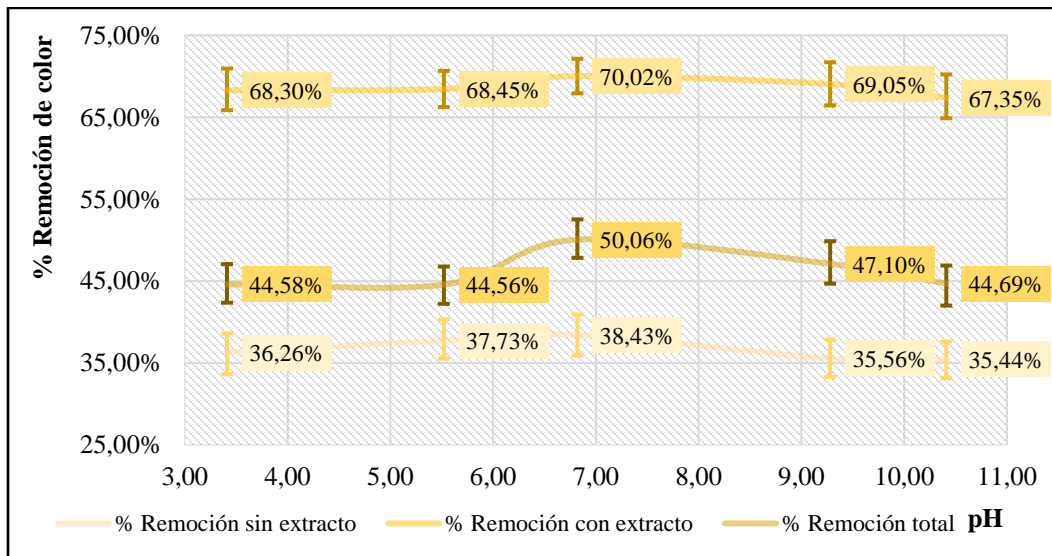
3.2.5. Resultados de la pre experimentación coagulante natural

Con el fin de evaluar los efectos de cada una variable (pH y coagulación del extracto) se decide realizar un proceso de filtración previo a las disoluciones con colorante sin agregarle el extracto para medir las absorbancias y la turbidez.

Luego de realizar esta prueba, se agrega el extracto y se mide nuevamente las absorbancias y la turbidez, antes y después de filtración, como se reportan los datos en el *Anexo 11-1, Anexo 11-2* para el CA-36 y en el *Anexo 11-4, Anexo 11-5* para el CR-88. Finalmente, se calcula la remoción total de color con la *Ecuación 6* y el aumento de la turbidez presente de todo el tratamiento de aguas con la *Ecuación 7*, para ambos colores (*Anexo 11-3 y Anexo 11-6*).

Figura 39.

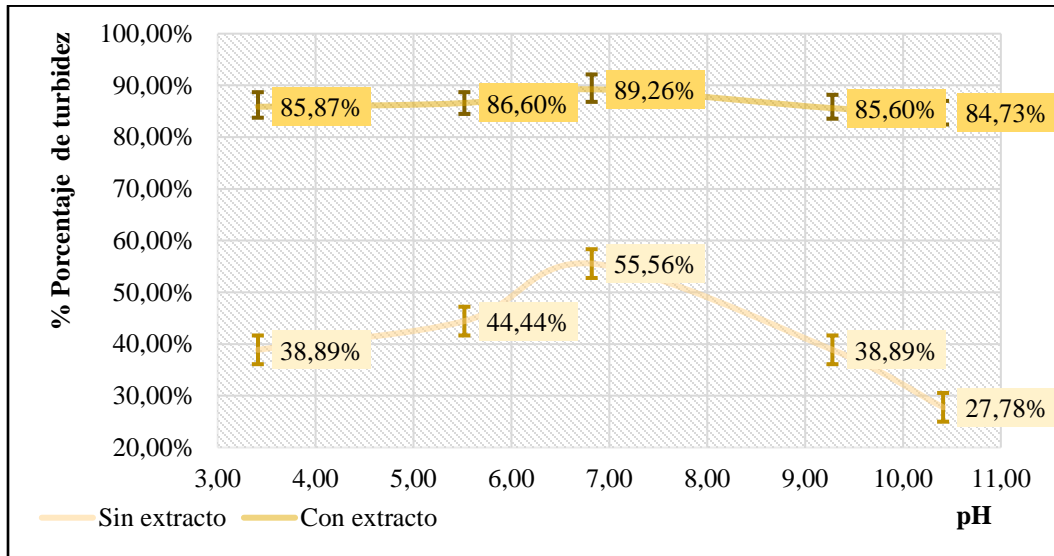
Resultados remoción del color del colorante amarillo # 36



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante amarillo # 36, todas las muestras cuentan con una concentración de coagulante de 15 mg/L.

Figura 40.

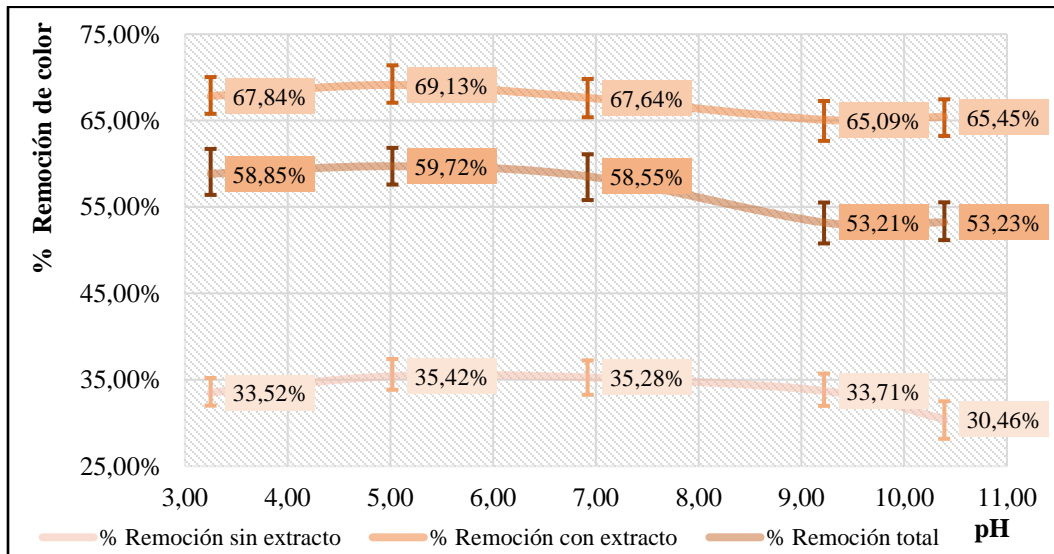
Resultados porcentaje de turbidez del colorante amarillo # 36



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona el porcentaje de turbidez con el pH, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de turbidez para el colorante amarillo # 36, todas las muestras cuentan con una concentración de coagulante de 15 mg/L.

Figura 41.

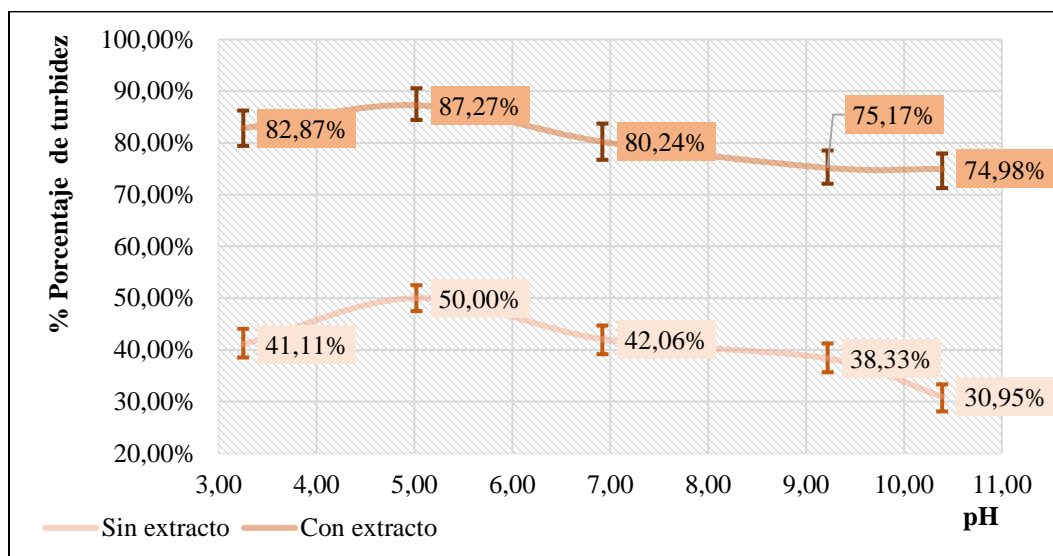
Resultados remoción del color del colorante rojo # 88



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante rojo # 88, todas las muestras cuentan con una concentración de coagulante de 15 mg/L.

Figura 42.

Resultados porcentaje de turbidez del colorante rojo # 88



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona el porcentaje de turbidez con el pH, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de turbidez para el colorante rojo # 88, todas las muestras cuentan con una concentración de coagulante de 15 mg/L.

3.2.6. Análisis de resultados pre experimentación coagulante natural

En primer lugar, se determina la importancia de la recuperación del disolvente de extracción, lo cual hace posible con una recirculación y aumento en la eficiencia del proceso, pues bien, las partículas afines restantes del disolvente reincorporado contienen la misma polaridad que las contenidas en una cantidad de materia prima nueva, por lo que arrastraría una mayor cantidad de CPF debido a su afinidad [23].

Se comprueba la utilidad de los barridos espectrales (*Figura 30 y Figura 31*) para una disolución a 100 ppm y se comprueba la longitud de onda máxima corresponde a la reportada en la ficha técnica, para ambos colorantes azoicos; Así como se mantiene constante los 442 nm en un rango de pH de 3,41 a 10,41 para el CA-36 y 507 nm en un rango de pH de 3,25 a 10,39 para el CR-88, como se observa en la *Figura 34 y Figura 35*, respectivamente.

Sin embargo, debido a que los colorantes poseen una gran variedad de estructuras, se presenta un fenómeno de amplio espectro para la variación de pH del CA-36, cuando es menor a 3,41 como se representa en la *Figura 36*. Pues bien, esta variable tiene la capacidad de causar un efecto contrario, ya sea precipitando los colorantes o causando cambios en el sistema conjugado debido a la protonación y desprotonación, con el consecuente cambio de color [34], lo que demuestra un cambio real en su grupo cromóforo y por tanto en su color visible.

La dosis mínima reportada por Musalan [2] fue de 42.5 mg/L, sin embargo, a causa del fenómeno presentado anteriormente, se decide trabajar con una concentración menor de 15 mg/L, con la ejecución de un blanco y observar el efecto que producen cada una de las variables.

Con el fin de calcular el porcentaje de remoción total de color y el aumento de la turbidez, se toma como referencia la medida de la absorbancia y de la turbidez antes de agregar el extracto y filtrarlo, se compara con la medida de la absorbancia y de la turbidez luego de agregar el extracto y filtrar la solución. De esta manera se logra identificar fácilmente la formación de coloides mediante la medida del porcentaje de turbidez, como se observa en la *Figura 42* para el CR-88 sin agregar extracto se encuentra entre el 30,95% y 41,11%; Siendo la mayor a un pH ácido de 5,02 (50,00%) a causa simplemente de la variación de pH y filtración. Mientras que con extracto de CD ronda entre el 74,98% y 82,87%; Siendo la mayor al mismo pH de 5,02 (87,27%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar de los datos de 0,068 y 0,052%, respectivamente.

Del mismo modo para el CA-36 en la *Figura 40*, sin agregar extracto se encuentra entre el 27,78% y 38,89%; Siendo la mayor a un pH neutro de 6,82 (55,56%) a causa simplemente de la variación de pH y filtración. Mientras que con extracto de CD ronda entre el 84,73% y 85,87%; Siendo la mayor al mismo pH de 6,82 (89,26%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar de los datos de 0,101 y 0,017%, respectivamente. Se observa que ésta aumenta al instante que se agrega el extracto de CD, demostrando así que los CPF presentes en el coagulante, causan la formación de coloides con las partículas del colorante que se van removiendo de las soluciones.

Por otro lado, como se muestra en la *Figura 41* para el CR-88, la remoción de color sin agregar extracto ronda entre el 30,46% y 33,52%; Siendo la mayor a un pH ácido de 5,02 (35,42%) a causa simplemente de la variación de pH y filtración. Mientras que con el extracto de CD la remoción de color ronda entre el 65,09% y 67,84%; Siendo la mayor al mismo pH de 5,02 (69,13%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar promedio de los datos de 0,047 y 0,017, respectivamente.

Del mismo modo para el CA-36 en la *Figura 39*, la remoción de color sin agregar el extracto ronda entre el 35,44% y 36,26%; Siendo la mayor a un pH de neutro de 6,82 (37,73%) a causa simplemente de la variación de pH y filtración. Mientras que aplicando el extracto de CD la remoción de color ronda entre el 67,35% y 68,30% %; Siendo la mayor al mismo pH de 6,82 (69,13%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar de los datos de 0,013 y 0,009, respectivamente. Se evidencia el fenómeno de coagulación al aplicar el extracto de CPF, duplicando aproximadamente el porcentaje de remoción de color para ambos colorantes, con una remoción total máxima de 59,72% para el CR-88 y 50,06% para el CA-36.

Se determina la incidencia de la variación de pH en el proceso de coagulación, debido a las cargas que facilitan la formación de los coloides, lo que se comprueba con el aumento de la turbidez en todos los ensayos, siendo una variable inversamente proporcional a la remoción del color.

3.3. Diseño de experimentos con coagulante natural

Luego analizar los resultados obtenidos en la pre experimentación, se propone un diseño de experimentos aplicando un test de jarras en dos floculadores marca E&Q modelo FG300T de seis paletas cada uno, donde se agita vigorosamente a 150 rpm durante un minuto para mezclar el coagulante en solución, luego a 35 rpm durante 20 minutos y finalmente se pasa por el proceso de filtrado mencionado en la anterior sección. De esta manera, para el planteamiento se toma como variables independientes la variación de pH y la dosis de coagulante agregada, ambos con 3 niveles y como variable de respuesta se toma el porcentaje de remoción de color calculado con 3 réplicas,

resultando así un diseño factorial 3², siendo un total de 9 ensayos por colorante, es decir, en total 18 ensayos para el diseño experimental formulado, como se muestra en *Tabla 18*.

Tabla 18.

Planteamiento del diseño de experimentos evaluación coagulante natural.

Colorante Amarillo # 36	pH			Colorante Rojo # 88	pH		
	Dosis de coagulante (GAE mg/L)	5,37	7,10		8,42	Dosis de coagulante (GAE mg/L)	3,96
10	10A	10B	10C	10	10D	10E	10F
15	15A	15B	15C	15	15D	15E	15F
20	20A	20B	20C	20	20D	20E	20F

Nota. Las tablas muestran el planteamiento del diseño de experimentos para ambos colorantes.

Con el dato de la humedad del extracto (96,95%) y su densidad (0,990 mg/mL) se obtiene la cantidad másica del extracto concentrado a miligramos de GAE.

Tabla 19.

Dosis de coagulante natural en mg de base seca.

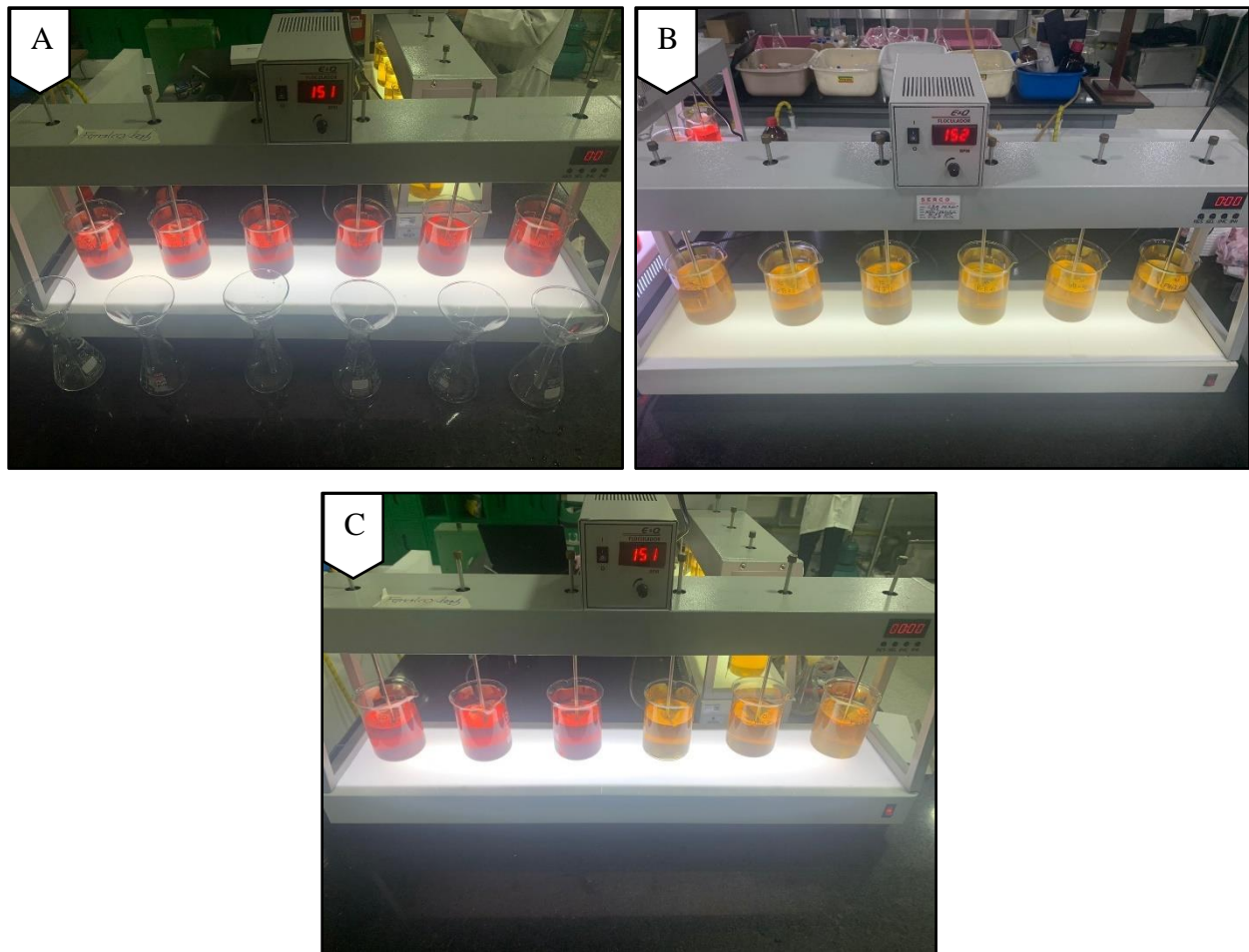
Dosis de coagulante (mgGAE/L)	Dosis de coagulante (mL)	Dosis de coagulante (mgGAE)
10	6	0,18
15	9	0,27
20	12	0,36

Nota. La tabla muestra las equivalencias de la cantidad de coagulante natural agregada en las aguas coloreadas (400 mL).

El montaje de test de jarras se representa en la *Figura 42*, a partir de la cual se realizan las respectivas lecturas en el espectrofotómetro, todos los datos se reportan en el *Anexo 12-1* para el CA-36 y en el *Anexo 12-2* para el CR-88.

Figura 43.

Montaje test de jarras diseño de experimentos coagulante natural

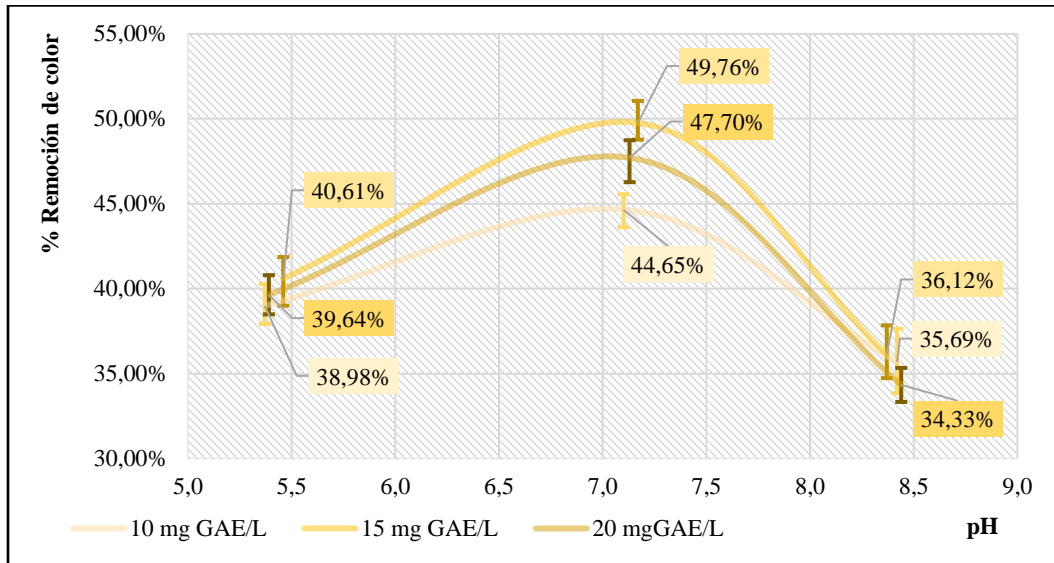


Nota. La figura muestra el montaje del test de jarras aplicado al diseño de experimentos para ambos colorantes, en la imagen (A) está el montaje con el colorante rojo # 88. en la imagen (B) está el montaje con el colorante amarillo # 36 y en la imagen (C) los tratamientos restantes para ambos colorantes.

Se realiza un gráfico para cada colorante (*Figura 44* y *Figura 45*) en el cual se evidencia con más claridad el observa el fenómeno de remoción de color.

Figura 44.

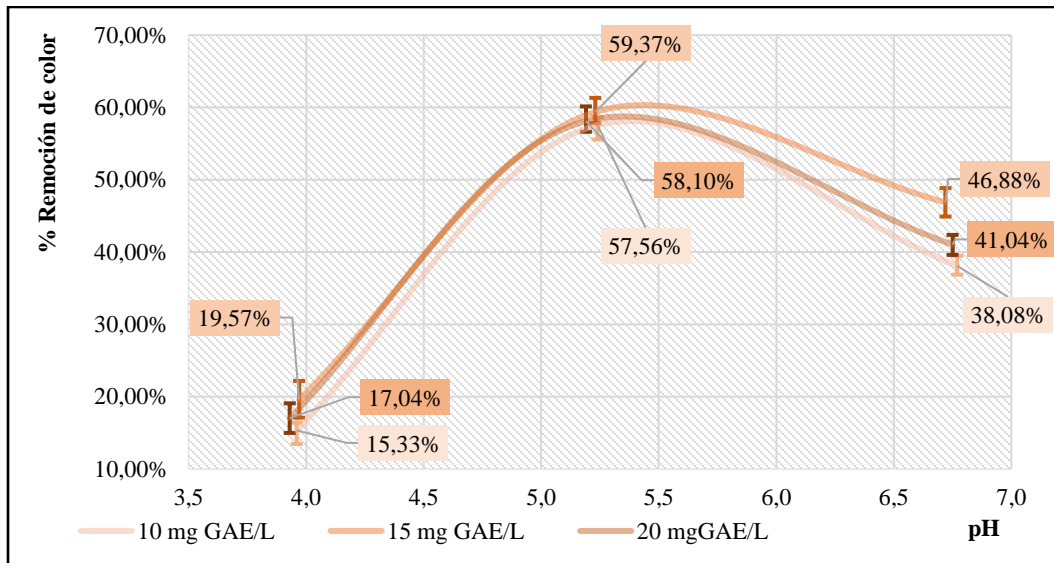
Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante amarillo # 36 con coagulante natural.



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH para el diseño de experimentos, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante amarillo # 36.

Figura 45.

Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante rojo # 88 con coagulante natural.



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH para el diseño de experimentos, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante rojo # 88.

3.3.1. *Análisis de resultados diseño de experimentos coagulante natural*

Como se observa en la *Figura 44* para el CA-36 se obtienen máximos porcentajes de remoción a un pH neutro de 7,10 junto con una dosis optima de 15 mg GAE/L (49,765%), seguida por la dosis de 20 mg GAE/L (47,70%) y por último de 10 mg GAE/L (44,65%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar de los datos de 0,041, 0,060 y 0,059, respectivamente.

De igual forma para el CR-88 en la *Figura 45* se obtienen máximos porcentajes de remoción a un pH ácido de 5,24 junto con una dosis optima de 15 mg GAE/L (59,37%), seguida por la dosis de 20 mg/L (58,10%) y por último de 10 mg/L (57,56%) a causa de la variación de pH, coagulante natural y filtración. Con una desviación estándar de los datos de 0,183, 0,176 y 0,179, respectivamente.

3.3.2. *ANOVA evaluación de la remoción del color con coagulante natural*

Para determinar la influencia de las variables escogidas en términos de porcentaje de remoción de color, se realizó el análisis estadístico con los datos de la *Tabla 20*. Se ejecuta el análisis de varianza ANOVA para dos factores (Dosis de coagulante natural y pH) con tres niveles respectivamente (10 mg/L, 15 mg/L y 20 mg/L; 5.41, 7.13 y 8.41), es decir 2^3 con un nivel de significancia de 0.05, es decir una confiabilidad de resultado del 95%.

Tabla 20.

Porcentaje de remoción de color empleando el coagulante natural.

Colorante Amarillo # 36	pH			Colorante Rojo # 88	pH		
	Dosis de coagulante (GAE mg/L)	5,37	7,10		8,42	Dosis de coagulante (GAE mg/L)	3,96
10	38,98%	44,65%	35,69%	10	15,33%	57,56%	38,08%
15	40,61%	49,76%	36,12%	15	19,57%	58,10%	46,88%
20	39,64%	47,70%	34,33%	20	17,04%	59,37%	41,04%

Nota. La tabla muestra la remoción de color, para ambos colorantes que son evaluados en el ANOVA.

Tabla 21.

Análisis de la varianza remoción de colorante azoico amarillo acido #36.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	0,003	2,000	0,001	14,306	1,910 E-04	3,555
Diámetro de partícula	0,066	2,000	0,033	355,316	3,427 E-15	3,555
Interacción	0,002	4,000	0,001	5,952	3,113 E-03	2,928
Dentro del grupo	0,002	18,000	0,000			
Total	0,073	26,000				

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de un análisis ANOVA con 2 factores y 3 niveles.

Al realizar el análisis ANOVA del CA-36 resulta la F calculada es mayor que la F crítica para las dos variables escogidas, lo que indica que hay diferencia significativamente estadística entre el pH

y la dosis del coagulante de CPF. Sin embargo, según la probabilidad de interacción, de igual forma la F calculada es mayor que la F crítica, lo que indica que la interacción de las dos variables es diferente para cada ensayo.

Tabla 22.

Análisis de la varianza remoción de colorante azoico rojo ácido #88.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	0,011	2,000	0,006	83,683	0,000	3,555
Diámetro de partícula	0,768	2,000	0,384	5662,812	0,000	3,555
Interacción	0,004	4,000	0,001	14,452	0,000	2,928
Dentro del grupo	0,001	18,000	0,000			
Total	0,784	26,000				

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de un análisis ANOVA con 2 factores y 3 niveles.

Al realizar el análisis ANOVA del CR-88 resulta la F calculada es mayor que la F crítica para las dos variables escogidas, lo que indica que hay diferencia significativamente estadística entre el pH y la dosis del coagulante de CPF. Sin embargo, según la probabilidad de interacción, de igual forma la F calculada es mayor que la F crítica, lo que indica que la interacción de las dos variables es diferente para cada ensayo.

4. O.E.3 COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO EN REMOCIÓN CON UN COAGULANTE CONVENCIONAL

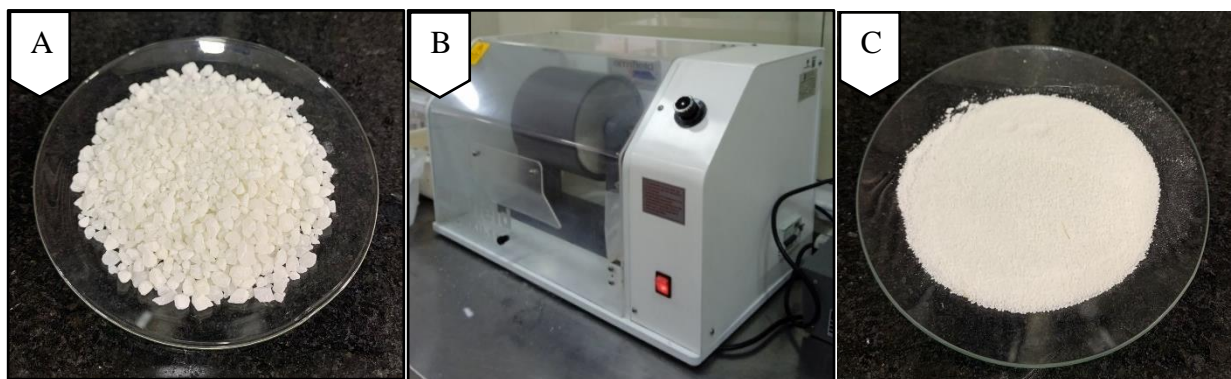
Con el fin de comparar la remoción obtenida por el coagulante natural, según Dotto, et. Al [48] en su trabajo titulado: “Desempeño de diferentes coagulantes en el proceso de coagulación/floculación de aguas residuales textiles” donde evalúan la eficiencia de remoción de color aparente entre un coagulante orgánico (Extraído de la moringa) y un coagulante inorgánico (Sulfato de aluminio) en aguas residuales textiles de una lavandería industrial. Se decide llevar a cabo el uso del sulfato de aluminio por su remoción en estas aguas [48].

4.1. Pretratamiento del sulfato de aluminio

Se usa el sulfato de aluminio (SA) granulado como se observa en la *Figura 46*, sin embargo, con el fin de conseguir una mejor disolución de esta sal en las aguas coloreadas, los gránulos se llevan a un molino de bolas marca ARMFIELD modelo CEN-MKII-11 durante 1 hora para disminuir su tamaño de partícula. A continuación, se realiza un proceso de tamizado a través del tamiz # 30 marca PINZUAR con diámetro de partícula (D_p : 0,6 mm) como muestra en la *Figura 46* para obtener un polvo más homogéneo.

Figura 46.

Montaje para el pretratamiento del sulfato de aluminio



Nota. La figura muestra el pretratamiento que se le aplicó al sulfato de aluminio para su aplicación, en la imagen (A) se encuentra el SA a granel, en la imagen (B) está el montaje del molino de bolas en funcionamiento y en la imagen (C) se encuentra el SA molido y tamizado por la malla # 30.

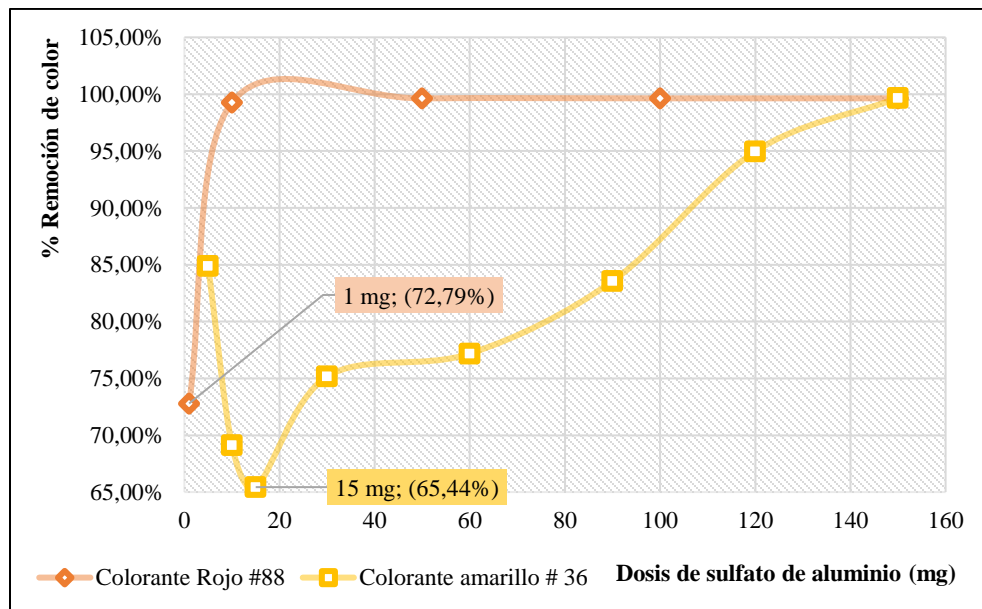
4.2. Pre experimentación dosis de sulfato de aluminio

Se desarrolla la metodología planteada para el coagulante natural en la *Sección 2.2.2.1 Determinación del volumen de coagulante*, de igual forma con 100 mL de disolución a la misma concentración de 25 ppm, para ambos colores CA-36 y CR-88.

Siguiendo la metodología planteada por Dotto, et. Al [48], estipula una dosis de 1531 mg/L de SA necesaria para llegar a una remoción de color del 78,00% en la presencia de un colorante reactivo; De esta manera, para esta fase pre experimental se pesan 150,4 mg y 150,1 mg de AS con ayuda de una microespátula en un vidrio de reloj y se agrega a cada una de las muestras, no obstante, el resultado obtenido de remoción de color para ambos colorantes fue de aproximadamente 99,99%, como se reporta en el *Anexo 13-1* y *Anexo 13-2*, lo que es altamente representativo y no tiene posibilidad de una variación, por lo que se decide reducir dosis de SA, como se muestra en la *Figura 47* para ambos colorantes.

Figura 47.

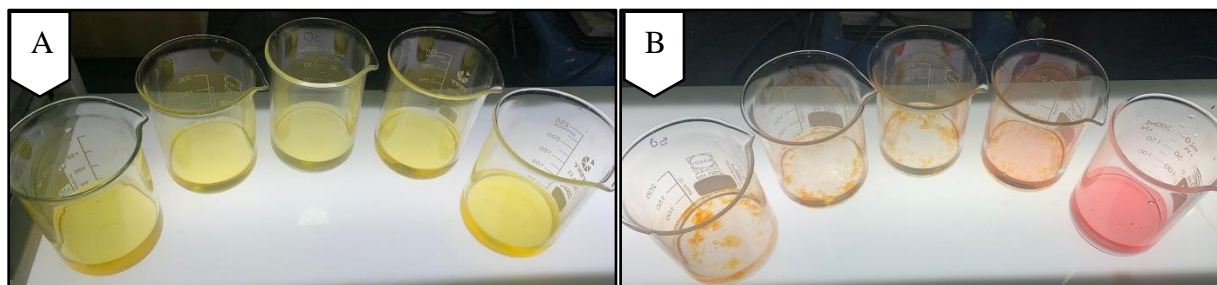
Dosis mínima de sulfato de aluminio para coagulación.



Nota. La figura muestra el gráfico de la dosis mínima necesaria para que se genere el proceso de coagulación para ambos colorantes azoicos.

Figura 48.

Pre experimentación dosis de sulfato de aluminio



Nota. La figura muestra el gráfico de la dosis mínima necesaria para que se genere el proceso de coagulación para ambos colorantes azoicos en la imagen (A) se observa el montaje para el CA-36 y en la imagen (B) se observa el montaje para el CR-88.

4.2.1. Análisis de resultados pre experimentación con sulfato de aluminio

Se determina la importancia de un pre tratamiento para el coagulante sintético (SA) en forma de gránulos, pues bien, se comprueba que la disminución en su tamaño de partícula a 0,6 mm permite una mejor solubilidad en la muestra de agua colorante. Con el fin de evaluar su porcentaje de remoción con una dosis inicial de 1531 mg/L según Dotto, et. Al [48], se evidencia un porcentaje de remoción elevado de 99,99% para ambas disoluciones de color; Por lo que se procede a reducirla como se observa en la *Figura 46* hasta 150 mg/L para el CA-36 (65,44%) y para el CR-88 debido a que posee una estructura química débil con una fácil coagulación y floculación, con tan solo con una dosis de 10 mg/L (72,79%) inicia instantáneamente la formación de coloides; Lo que se asemeja al porcentaje máximo obtenido con el coagulante natural de CPF y se convierte en la base para el planteamiento de un diseño de experimentos.

4.3. Diseño de experimentos con sulfato de aluminio

Del mismo modo, se plantea un diseño de experimentos con el fin de comparar los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de color con obtenido con el coagulante natural. De esta manera, se ejecuta bajo las mismas condiciones de la *Sección 2.2.3 Diseño de experimentos con coagulante natural*, por consiguiente, para el planteamiento se toman las mismas variables

independientes, variación de pH y dosis de coagulante, ambos con 3 niveles y como variable de respuesta se toma el porcentaje de remoción de color calculado con 3 réplicas, resultando así un diseño factorial 3^2 , siendo un total de 9 ensayos por colorante, es decir, en total 18 ensayos para el diseño experimental formulado, como se muestra en *Tabla 23*.

Tabla 23.

Planteamiento del diseño de experimentos comparación con sulfato de aluminio.

Colorante Amarillo # 36	pH			Colorante Rojo # 88	pH		
	Dosis de SA (mg/L)	5,43	7,14		8,44	Dosis de SA (mg/L)	3,92
100	100A	100B	100C	3,5	3D	3E	3F
150	150A	150B	150C	5,0	5D	5E	5F
200	200A	200B	200C	10,0	10D	10E	10F

Nota. Las tablas muestran el planteamiento del diseño de experimentos para la comparación con sulfato de aluminio.

Tabla 24.

Dosis de sulfato de aluminio en mg de base seca

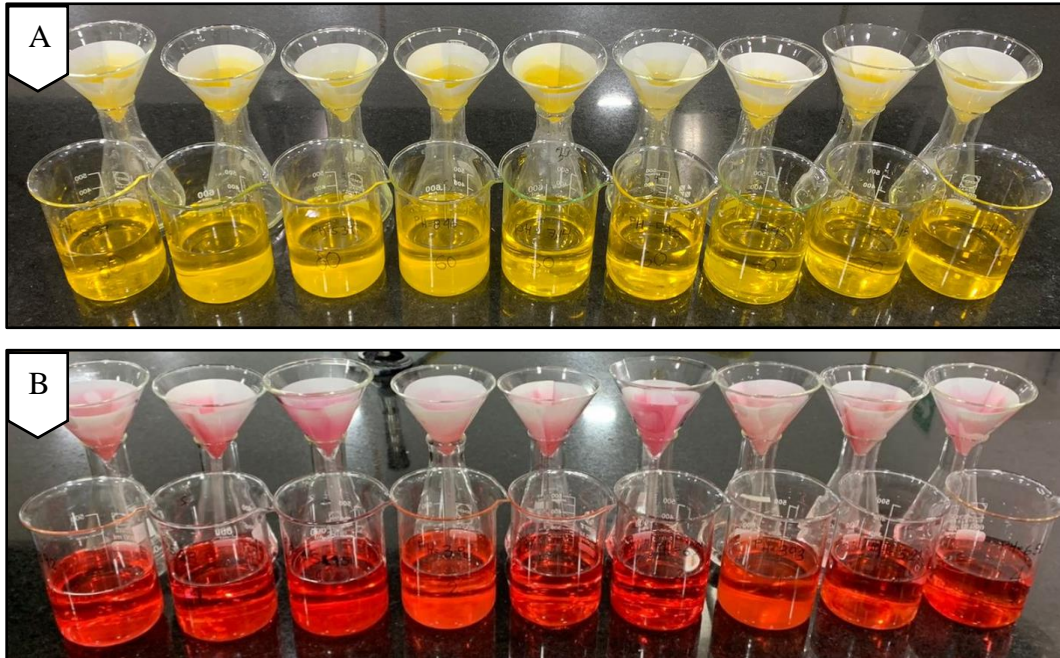
Colorante Amarillo # 36		Colorante Rojo # 88	
Dosis de SA (mg/L)	Dosis de SA (mg)	Dosis de SA (mg/L)	Dosis de SA (mg)
100	40	3,5	1,4
150	60	5,0	2,0
200	80	10,0	4,0

Nota. La tabla muestra las equivalencias de la cantidad de sulfato de aluminio agregada en las aguas coloreadas (400 mL).

El montaje de test de jarras se representa en la *Figura 49*, todos los datos tomados se reportan en el *Anexo 14-1* para el CA-36 y en el *Anexo 14-2* para el CR-88.

Figura 49.

Montaje test de jarras diseño de experimentos sulfato de aluminio.

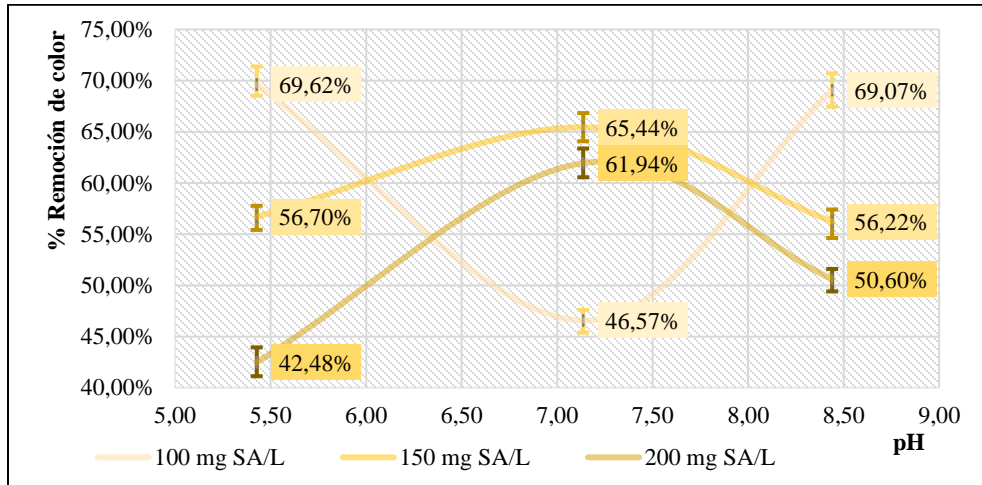


Nota. La figura muestra el montaje del test de jarras aplicado al diseño de experimentos para ambos colorantes, en la imagen (A) está el montaje con el colorante rojo # 88. en la imagen (B) está el montaje con el colorante amarillo # 36 y en la imagen (C) los tratamientos restantes para ambos colorantes.

Se realiza un gráfico para cada colorante (*Figura 50 y Figura 51*) en el cual se evidencia con más claridad el fenómeno de la remoción del color.

Figura 50.

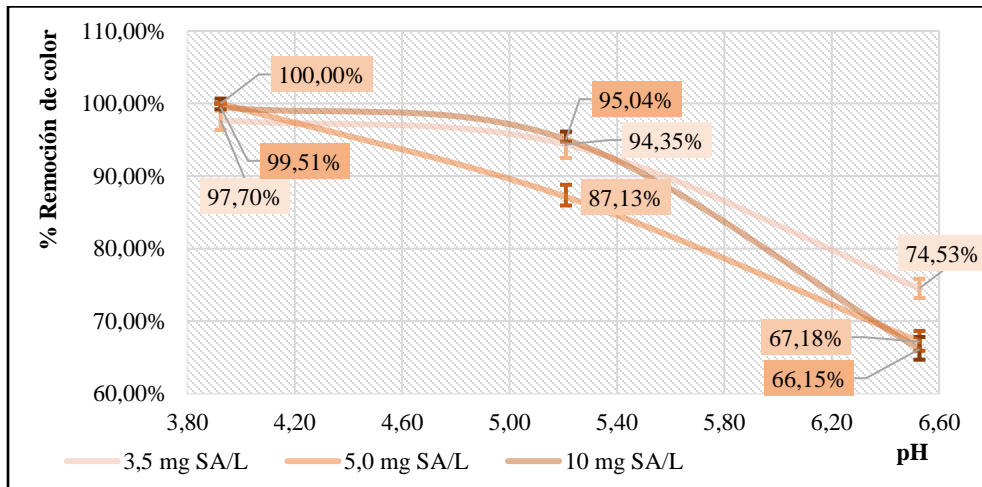
Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante amarillo # 36 con sulfato de aluminio.



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH para el diseño de experimentos, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante amarillo # 36.

Figura 51.

Resultados diseño de experimentos remoción de color del colorante rojo # 88 con sulfato de aluminio.



Nota. La figura muestra el gráfico que relaciona la remoción de color con el pH para el diseño de experimentos, aquí se puede observar la variación de los porcentajes de remoción para el colorante rojo # 88.

4.3.1. *Análisis de resultados con sulfato de aluminio*

Se compara el porcentaje de remoción total de color obtenido con un coagulante sintético SA y nuestro coagulante natural de CPF, se toma como referencia la medida de la absorbancia antes de agregar el SA y filtrarlo, se compara con la medida de la absorbancia luego de agregar el SA y filtrar la solución.

Como se observa en la *Figura 50* para el CA-36 se obtiene un máximo porcentaje de remoción a pH neutro de 7,14 a una dosis de 150 mg SA/L (65,44%), con una desviación estándar promedio de los datos de 0,003. Lo que indica que se necesitan tan solo 19,73 mg GAE/L para llegar a dicho porcentaje de remoción, haciendo el extracto de CPF del residuo de la CD de café más efectivo para coagular un colorante amarillo de tipo azoico. Se demuestra que se necesita una menor cantidad de coagulante, con ello disminuye el costo del insumo y en gran medida la contaminación ambiental de este compuesto.

Del mismo modo para el CR-88 en la *Figura 51*, se obtiene un máximo porcentaje de remoción a pH ácido de 5,21 a una dosis de 10 mg SA/L (95,04%) con una desviación estándar promedio de los datos de 0,003. Que comparada con el coagulante natural al mismo pH se necesita una dosis de 15 mg GAE/L (59,37%), lo que indica que se necesitan 24,01 mg GAE/L para llegar a dicho porcentaje de remoción, haciendo el extracto de CPF menos efectivo para coagular un colorante rojo de tipo azoico, pues su molécula tiene mayor afinidad al coagulante sintético. Sin embargo, el coagulante natural remueve más de un 50% lo que por el ámbito ambiental traería un gran beneficio.

4.3.2. ANOVA remoción de color con sulfato de aluminio

Tabla 25.

Porcentaje de remoción de color empleando sulfato de aluminio.

Colorante Amarillo # 36	pH			Colorante Rojo # 88	pH		
	Dosis de SA (mg/L)	5,43	7,14		8,44	Dosis de SA (mg/L)	3,92
100	69,62%	46,57%	69,07%	3,5	97,70%	94,35%	74,53%
150	56,70%	65,44%	56,22%	5,0	100,00%	87,13%	67,18%
200	42,48%	61,94%	50,60%	10,0	99,51%	95,04%	66,15%

Nota. La tabla muestra la remoción de color, para ambos colorantes que son evaluados en el ANOVA.

Tabla 26.

Análisis de la varianza remoción de colorante azoico amarillo ácido #36.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	0,050	2,000	0,025	1181,266	8,080,E-20	3,555
Diámetro de partícula	0,003	2,000	0,001	63,102	7,356,E-09	3,555
Interacción	0,175	4,000	0,044	2052,977	1,143,E-23	2,928
Dentro del grupo	0,000	18,000	0,000			
Total	0,228	26,000				

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de un análisis ANOVA con 2 factores y 3 niveles.

Al realizar el análisis ANOVA del CA-36 resulta la F calculada es mayor que la F crítica para las dos variables escogidas, lo que indica que hay diferencia significativamente estadística entre el pH y la dosis del coagulante de SA. Sin embargo, según la probabilidad de interacción, de igual forma la F calculada es mayor que la F crítica, lo que indica que la interacción de las dos variables es prácticamente igual para cada ensayo.

Tabla 27.

Análisis de la varianza remoción de colorante azoico rojo ácido #88.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de residuo	0,008	2,000	0,004	121,567	3,513,E-11	3,555
Diámetro de partícula	0,438	2,000	0,219	7056,540	8,828,E-27	3,555
Interacción	0,017	4,000	0,004	140,227	2,640,E-13	2,928
Dentro del grupo	0,001	18,000	0,000			
Total	0,463	26,000				

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de un análisis ANOVA con 2 factores y 3 niveles.

Al realizar el análisis ANOVA del CR-88 resulta la F calculada es mayor que la F crítica para las dos variables escogidas, lo que indica que hay diferencia significativamente estadística entre el pH y la dosis del coagulante de CPF. Sin embargo, según la probabilidad de interacción, de igual forma la F calculada es mayor que la F crítica, lo que indica que la interacción de las dos variables prácticamente igual para cada ensayo.

CONCLUSIONES

1. Se ejecuta la evaluación de remoción de colorantes azoicos amarillo ácido # 36 y rojo ácido # 88, mediante un coagulante extraído a partir de la cascara deshidratada de café de la especie *Coffea arábica*. De esta manera, se obtiene una remoción de 49,76% para el colorante amarillo y 59,37% para el colorante rojo, ambos resultados menores comparado con los obtenidos empleando sulfato de aluminio, sin embargo, es de vital importancia destacar el gran beneficio del uso de este residuo de la industria cafetera, dándole un valor agregado e integrándolo a una economía circular sostenible.
2. Se caracteriza el extracto fenólico obtenido de tres tipos residuos de café (Cascara fresca, Cascara deshidratada y Café verde de trilla), a partir de los cuales se define con la mayor cantidad de compuestos polifenólicos (6,96 mgGAE/gBS) a la cáscara deshidratada con diámetro de partícula 3,375 mm cuantificados mediante la metodología de Folin-Ciocalteu. De igual manera, el extracto cuenta con una humedad de 96,95%, una densidad de 0,99 g/mL, con un pH de 5,48 y un grado de alcohol del 2% según la escala de Gay Lussac.
3. Se establece la actividad coagulante del extracto polifenólico proveniente del residuo de la cáscara de café deshidratada, obteniendo una incidencia en la variación de pH del proceso de coagulación, debido a las cargas que facilitan la formación de los coloides, donde el mayor porcentaje de remoción de color para el colorante rojo ácido # 88 es de 59,37% a un pH ácido de 5,24, y para el colorante amarillo ácido # 36 la mayor remoción de color es de 49,76% a un pH neutro de 7,10, ambas remociones, agregando dosis de coagulante de 15 mgGAE/L.
4. Se determina un desempeño de remoción del coagulante natural en comparación con el sulfato de aluminio, estableciendo una gran afinidad del coagulante convencional para ambos colorantes, con una dosis de 10 mgSA/L para el colorante rojo #88 se logra una remoción del 95,04% a un pH de 5,21, una remoción 35,67% mayor que la obtenida con el extracto polifenólico. Por otro lado, con una dosis de 150 mgSA/L para el colorante amarillo #36 se logra una remoción del 65,44% a un pH de 7,14, una remoción 15,68% mayor que con el coagulante natural.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de obtener mejores rendimientos para la molienda del residuo de café verde de trilla debido a su dureza, se recomienda el uso de un molino de bolas, el cual disminuye el porcentaje de pérdidas en esta etapa de pretratamiento.
- Para la preservación de los extractos polifenólicos se es indispensable almacenarlos en frascos ámbar cerrados a una temperatura de refrigeración de 0 a 4 °C, evitando así una rápida degradación.
- Con miras a obtener lecturas precisas en el espectrofotómetro, durante el proceso de filtración de la disolución de colorantes, se debe filtrar las muestras durante mínimo 30 minutos antes de tomar la alícuota para la lectura de la absorbancia.
- Para una futura investigación se propone realizar la extracción de polifenoles empleando el disolvente recuperado del proceso de destilación al vacío (Etanol-Agua), con el fin de evaluar la concentración obtenida de CPF y compararla con los resultados obtenidos en este proyecto. El proceso de recirculación efectuaría el cumplimiento no solo del quinto principio de química verde "Solventes más seguros", sino también con el octavo "Reducir los productos derivados" [19].
- Con el fin de ampliar el uso del extracto polifenólico, para una futura investigación evaluar la actividad coagulante en aguas que contengan otro tipo de colorantes textiles como, por ejemplo, colorantes reactivos, colorantes dispersos, colorantes transferidos, colorantes tipo básicos y que contengan otros grupos cromóforos, por ejemplo, índigos o antraquinonas, igualmente se propone investigar la aplicación del extracto fenólico directamente en efluentes industriales textiles.
- Para especificar en temas económicos, en una futura investigación realizar un análisis financiero, donde se evalúen costos de la obtención del extracto fenólico, y hacer una comparación con el coagulante sintético.
- Para precisar en repercusiones medio ambientales, en una futura investigación realizar una comparación, donde se evalúe el postratamiento de los coloides formados con el extracto natural y los coloides formados con el coagulante sintético.
- Con objetivo de ampliar el diseño de experimentos de la extracción del coagulante natural, se propone para una futura investigación evaluar otros diámetros de partícula, y valorar la incidencia de esta variable en el proceso extractivo.

- Para conocer más a fondo los CPF presentes en el extracto, en una futura investigación realizar otro tipo de cuantificación, como por ejemplo una cromatografía líquida de alta eficacia HPLC.
- Con el fin de profundizar estadísticamente en los resultados obtenidos, para una futura investigación seguir la metodología de superficie de respuesta, y así explorar la relación entre las variables propuestas y la variable de respuesta, en todos los diseños de experimentos propuestos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. A. Restrepo Osorno, “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE,” Medellín, May 2009. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
- [2] M. Musalan, “EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE DE LOS POLIFENOLES EXTRAÍDOS DE RESIDUOS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA),” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7397>
- [3] N. Cicco, M. T. Lanorte, M. Paraggio, M. Viggiano, and V. Lattanzio, “A reproducible, rapid and inexpensive Folin-Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts,” *Microchemical Journal*, vol. 91, no. 1, pp. 107–110, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.microc.2008.08.011.
- [4] P. : Carlos *et al.*, “El mercado mundial del café y su impacto en Colombia,” Bogotá, 2012. Accessed: Feb. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.banrep.gov.co/es/borrador-710>
- [5] N. Rodríguez Valencia, “MANEJO DE RESIDUOS EN LA AGROINDUSTRIA CAFETERA,” Chinchiná, Jun. 2017. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/xxx.pdf>
- [6] N. Rodríguez Valencia and D. A. Franco Zambrano, “LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ: FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE,” Chinchiná, Mar. 2010. Accessed: Feb. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>
- [7] P. Esquivel and V. M. Jiménez, “Functional properties of coffee and coffee by-products,” *Food Research International*, vol. 46, no. 2, pp. 488–495, May 2012, doi: 10.1016/j.foodres.2011.05.028.
- [8] A. Farah and C. M. Donangelo, “Phenolic compounds in coffee 1,” 2006. Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>

- [9] M. Quiñones, M. Miguel, and A. Aleixandre, “Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular,” *Nutrición hospitalaria*, vol. 27, no. 1, pp. 76–89, 2012, doi: 10.3305/nh.2012.27.1.5418.
- [10] G. Mercado-Mercado, L. de la R. Carrillo, A. Wall-Medrano, J. A. López Díaz, and E. Álvarez-Parrilla, “Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México,” *Nutricion Hospitalaria*, vol. 28, no. 1. pp. 36–46, 2013. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6298.
- [11] G. Inés Puerta-Quintero, “ESPECIFICACIONES DE ORIGEN Y BUENA CALIDAD DEL CAFÉ DE COLOMBIA,” Chinchiná, Oct. 2003.
- [12] “Producción mundial de Robusta_ Cómo influye en el precio del café - Perfect Daily Grind Español”.
- [13] “El café aporta un 1 % al PIB colombiano en 2021,” *Bloomberg Línea*, Nov. 2021, Accessed: Feb. 23, 2022. [Online]. Available: <https://federaciondecafeteros.org/wp/listadonoticias/cafe-crece-214-en-primer-trimestre-y-jalona-pib-agropecuario-de-33/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20cifras%20del%20Departamento%20Administrativo,5%20veces%20el%20PIB%20nacional>.
- [14] S. Asmar Soto, “La geografía y el clima, claves para la producción con buen sabor del café especial,” *Agronegocios*, Aug. 12, 2020. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-geografia-y-el-clima-claves-para-la-produccion-con-buen-sabor-del-cafe-especial-3044031> (accessed Jul. 19, 2022).
- [15] D. Echeverri, L. Buitrago, F. Montes, I. Mejía, and M. del P. González, “CAFÉ PARA CARDIÓLOGOS,” *Revista colombiana de cardiología*, vol. 11, no. 8, pp. 357–365, Mar. 2005.
- [16] J. Gélvez, “El cafeto partes y características de la planta de café,” *Mundo cafeto*, May 23, 2018. <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/> (accessed Feb. 23, 2022).

- [17] R. Prada, “La ciencia del café (I): De la planta a la taza,” *Hablando de ciencia*, Oct. 20, 2014. <https://hablandodeciencia.com/la-ciencia-del-cafe-i-de-la-planta-a-la-taza/> (accessed Feb. 25, 2022).
- [18] N. Rodríguez Valencia and D. A. Franco Zambrano, “LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ: FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE,” Chinchiná, Mar. 2010. Accessed: Feb. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>
- [19] P. G. Ulibarry, “Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes,” Chile, Mar. 2019. [Online]. Available: <http://bcn.cl/28ziq>
- [20] M. Quiñones, M. Miguel, and A. Aleixandre, “Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular,” *Nutrición hospitalaria*, vol. 27, no. 1, pp. 76–89, 2012, doi: 10.3305/nh.2012.27.1.5418.
- [21] G. Mercado-Mercado, L. de la R. Carrillo, A. Wall-Medrano, J. A. López Díaz, and E. Álvarez-Parrilla, “Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México,” *Nutricion Hospitalaria*, vol. 28, no. 1, pp. 36–46, 2013. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6298.
- [22] A. Farah and C. M. Donangelo, “Phenolic compounds in coffee 1,” 2006. Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>
- [23] Sara. Arranz Martínez, F. Saura Calixto, and Corp. e-libro, *Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española metodología para su determinación e identificación*. Universidad Complutense de Madrid, 2010. Accessed: Feb. 25, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=93481>
- [24] Ó. A. Muñoz-Bernal *et al.*, “NUEVO ACERCAMIENTO A LA INTERACCIÓN DEL REACTIVO DE FOLIN-CIOCALTEU CON AZÚCARES DURANTE LA CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES,” *TIP*, vol. 20, no. 2, pp. 23–28, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.recqb.2017.04.003.

- [25] J. Rodríguez, M. González, and M. López, “Desarrollo de un proceso tecnológico a escala de laboratorio para la extracción de polifenoles totales del fruto de la *Punica granatum*,” La Habana, 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/260778179>
- [26] R. Azuola and P. Vargas, “Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA),” *Tecnología en Marcha*, vol. 20, no. 4, 2007, Accessed: Mar. 14, 2022. [Online]. Available: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/449
- [27] D. Aponte and M. Palomino, “SEPARACIÓN DE POLIFENOLES A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ PARA EVALUAR SU APLICABILIDAD COMO PARTE DE UN COAGULANTE NATURAL,” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2017. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <https://biblos.uamerica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=920704>
- [28] D. Chacua Mojica and M. A. Rodríguez Martínez, “EVALUACIÓN DE LOS POLIFENOLES EXTRAÍDOS A PARTIR DE RESIDUOS DE *Coffea arabica*, PARA LA PRODUCCIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL,” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2018. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6704>
- [29] L. N. Nuván Vargas and M. M. Rojas Nariño, “EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUA, MEDIANTE EL USO DE UN COAGULANTE OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ,” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2018. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6764>
- [30] N. C. Espinal Corrales, “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO,” Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2009. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1114_Q.pdf

- [31] Lenntech, “Lenntech-Coloides,” 2022. <https://www.lenntech.es/particulas-coloidales.htm#ixzz7PPwxM5oG> (accessed Apr. 02, 2022).
- [32] F. J. Pérez de la Cruz and M. A. Urrea Mallebrera, “ABASTECIMIENTO DE AGUAS,” Cartagena. Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
- [33] M. López, A. Martínez, and L. Farías, “Comportamiento de partículas coloidales en pinturas base agua,” *CienciAcierta*, vol. 38, Apr. 2014, Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/06/05/comportamiento-de-particulas-coloidales-en-pinturas-base-agua/>
- [34] D. Marcano, *Introducción a la Química de los Colorantes*. 2018.
- [35] S. Benkhaya, S. M’rabet, and A. el Harfi, “Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes,” *Heliyon*, vol. 6, no. 1. Elsevier Ltd, Jan. 01, 2020. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03271.
- [36] H. Aghdasinia, R. Bagheri, B. Vahid, and A. Khataee, “Central composite design optimization of pilot plant fluidized-bed heterogeneous Fenton process for degradation of an azo dye,” *Environmental Technology (United Kingdom)*, vol. 37, no. 21, pp. 2703–2712, Nov. 2016, doi: 10.1080/09593330.2016.1159734.
- [37] A. Malik, “Removal of Dyes by *Aspergillus* sp. in Growth Supportive and Growth Restricted Modes,” pp. 2070–3740, doi: 10.13140/2.1.2460.9925.
- [38] Intekgroup, “¿QUÉ ES UN ROTAÉVAPORADOR?,” Jun. 14, 2021. <https://intekgroup.com.co/lo-que-necesitas-saber-antes-de-comprar-un-rotaevaporador/#:~:text=El%20rotaevaporador%20o%20rotavapor%20es,de%20los%20puntos%20de%20ebullic%C3%B3n> (accessed May 09, 2022).
- [39] N. C. Medina Torres, “EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN Y NANOENCAPSULACIÓN DE POLIFENOLES DE LIMÓN PERSA (*CITRUS LATIFOLIA*),” Centro de investigación del estado de Jalisco, Mérida, 2017. Accessed: Jul.

- 19, 2022. [Online]. Available: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/447/1/Nelly%20Carolina%20Medina.pdf>
- [40] ICONTEC, “NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2558,” Bogotá, Oct. 2000.
- [41] L. S. Torres-Valenzuela, K. G. Martínez, J. A. Serna-Jimenez, and M. C. Hernández, “Drying of coffee pulp: Process parameters, mathematical model and its effect over physicochemical properties,” *Informacion Tecnologica*, vol. 30, no. 2, pp. 189–200, Mar. 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000200189.
- [42] C. Franco, “ESTUDIO DE TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CAFÉ INSTANTÁNEO,” Lima, Apr. 2017. Accessed: Apr. 15, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3021>
- [43] M. N. Clifford, “The Composition of green and Roasted coffee beans,” *Process Biochemistry*, pp. 20–23, May 1975, Accessed: Apr. 15, 2022. [Online]. Available: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/740/2/1%20Composici%C3%B3n%20granos%20caf%C3%A9%20verde%20y%20tostado.pdf>
- [44] R. H. Perry, *MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO*, Sexta. México: Mc Graw Hill, 1992.
- [45] P. Esquivel and V. M. Jiménez, “Functional properties of coffee and coffee by-products,” *Food Research International*, vol. 46, no. 2, pp. 488–495, May 2012, doi: 10.1016/j.foodres.2011.05.028.
- [46] N. A. Al-Dhabi, K. Ponmurugan, and P. Maran Jeganathan, “Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 34, pp. 206–213, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.05.005.
- [47] Environmental Protection Agency United States, “Basics of Green Chemistry _ US EPA,” May 17, 2022. <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#definition> (accessed Jun. 05, 2022).

- [48] J. Dotto, M. R. Fagundes-Klen, M. T. Veit, S. M. Palácio, and R. Bergamasco, “Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 656–665, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.112.

ANEXOS

ANEXO 1. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS COLORANTES AZÓICOS

Anexo 1-1. Ficha técnica de colorante Amarillo ácido N°36

	INCOLOR LTDA	FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO	COLORANTES ÁCIDOS Y BÁSICOS TRICOLOR
Fecha elaboración:	ABRIL 2003	Fecha de Revisión:	DICIEMBRE 2019
Página:	1 de 1		

IDENTIFICACIÓN

Nombre Comercial	AMARILLO ORO SOLIDO TRICOLOR	
Identificación	COLORANTE ACIDO AMARILLO	
Color Índice No.	Amarillo acido N° 36	
Familia química	Monoazo	
Código	171000	
Especificación	Contenido de colorante puro	75% (+/- 1%)
	Cloruro y sulfato de sodio combinados con material volátil	25% Max.
Estabilidad	Luz	5
	Calor	
	100 °C	5
	150°C	0
	Álcalis	4
	Ácidos	3
	Preservativos	
	Ácido fórmico	4
	Dióxido de azufre	4
Apariencia física	Polvo fino de color amarillo	
Solubilidad	En Agua	25-30 gr/lit a 100 °C
	En otros solventes	N.D. gr/lit a 0 °C
Valor Ph	A 20 °C	6.0-7.0 10 gr/lit
Granulometría	Malla 60 pasando	98% Mínimo
	O retenido	2% Máximo
Espectrofotometría	Long de onda máxima absorción	100 nm
	Leer en concentración de	10 ppm
Vida útil	5 años En buenas condiciones de almacenamiento	
Aplicaciones	Lana Papel, Nylon Seda Madera, paja Acetatos Fique, plumas Tintas y jabones Lacas	

Anexo 1-2. Ficha técnica de colorante Rojo ácido N°88

		INCOLOR LTDA		FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO		COLORANTES ÁCIDOS Y BÁSICOS TRICOLOR	
Fecha elaboración:	ABRIL 2003	Fecha de Revisión:	ABRIL 2018	Página:	1 de 1		

IDENTIFICACIÓN

Nombre Comercial	ROJO PASIÓN TRICOLOR		
Identificación	COLORANTE ACIDO ROJO		
Color	Rojo acido N° 88		
Índex No.	Monoazo		
Familia química	1700		
Código	1700		
Especificación	Contenido de colorante puro	90% (+/- 1%)	
	Cloruro y sulfato de sodio combinados con material volátil	10% Max.	
Estabilidad	Luz	5	
	Calor	5	
	100 °C	0	
	150°C	4	
	Álcalis	3	
	Ácidos	4	
	Preservativos	4	
	Ácido fórmico	4	
	Dióxido de azufre	4	
Apariencia física	Polvo fino de color rojo		
Solubilidad	En Agua	1 - 5 gr/lit a 100 °C	
	En otros solventes	N.D. gr/lit a 0 °C	
Valor Ph	A 20 °C	8.0 - 10.0	10 gr/lit
Granulometría	Malla 60 pasando	98% Mínimo	
	O retenido	2% Máximo	
Espectrofotometría	Long de onda máxima absorción	100 nm	
	Leer en concentración de	10 ppm	
Vida útil	5 años		
	En buenas condiciones de almacenamiento		
Aplicaciones	Lana		
	Nylon		
	Cuero, seda		
	Flores		
	Madera		
	Acetatos		
	Fique		
	Papel, jabón		
	Detergentes líquidos		

**ANEXO 2. TOMA DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE
HUMEDAD NTC 2558**

Anexo 2-1. Toma de datos para la cáscara deshidratada con diámetro de partícula 3,375 milímetros

TIEMPO (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00000000
12	0,00%	0,00%	0,20%	0,07%	0,001154701
21	1,00%	1,00%	1,20%	1,07%	0,001154701
30	2,40%	2,60%	2,75%	2,58%	0,001755942
39	4,20%	3,80%	4,35%	4,12%	0,002843120
48	5,20%	4,40%	5,35%	4,98%	0,005107184
57	5,60%	4,80%	5,75%	5,38%	0,005107184
66	6,00%	5,20%	6,15%	5,78%	0,005107184
75	6,40%	5,60%	6,55%	6,18%	0,005107184
84	6,80%	5,80%	6,95%	6,52%	0,006251666
93	7,00%	6,20%	7,15%	6,78%	0,005107184
102	7,40%	6,40%	7,35%	7,05%	0,005634714
111	7,60%	6,60%	7,75%	7,32%	0,006251666
120	7,80%	6,80%	7,95%	7,52%	0,006251666
129	8,20%	7,20%	8,15%	7,85%	0,005634714
138	8,40%	7,40%	8,35%	8,05%	0,005634714
147	8,60%	7,60%	8,55%	8,25%	0,005634714
156	8,80%	7,80%	8,75%	8,45%	0,005634714
165	9,00%	8,00%	8,95%	8,65%	0,005634714
174	9,20%	8,20%	9,15%	8,85%	0,005634714
183	9,40%	8,40%	9,35%	9,05%	0,005634714
192	9,60%	8,60%	9,55%	9,25%	0,005634714
201	9,80%	8,80%	9,75%	9,45%	0,005634714
210	10,00%	9,00%	9,95%	9,65%	0,005634714
219	10,20%	9,20%	10,15%	9,85%	0,005634714
228	10,40%	9,40%	10,35%	10,05%	0,005634714
237	10,60%	9,60%	10,55%	10,25%	0,005634714
246	10,80%	9,80%	10,55%	10,38%	0,005204165
255	11,00%	10,00%	10,55%	10,52%	0,005008326
264	11,00%	10,20%	10,55%	10,58%	0,004010403
273	11,20%	10,20%	10,55%	10,65%	0,005074446
276	11,20%	10,40%	10,55%	10,72%	0,004252450
279	11,20%	10,40%	10,55%	10,72%	0,004252450
282	11,40%	10,40%	10,55%	10,78%	0,005392897
285	11,40%	10,40%	10,55%	10,78%	0,005392897

Anexo 2-2. Toma de datos para la cáscara deshidratada con diámetro de partícula 1,850 milímetros

TIEMPO (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0000000
12	0,20%	0,00%	0,20%	0,13%	0,00115470
21	1,40%	1,00%	1,40%	1,27%	0,00230940
30	3,20%	2,60%	3,00%	2,93%	0,00305505
39	4,40%	3,80%	4,00%	4,07%	0,00305505
48	5,20%	4,20%	4,60%	4,67%	0,00503322
57	5,60%	4,80%	5,00%	5,13%	0,00416333
66	6,00%	5,20%	5,40%	5,53%	0,00416333
75	6,20%	5,60%	5,80%	5,87%	0,00305505
84	6,60%	6,00%	6,00%	6,20%	0,00346410
93	6,80%	6,20%	6,40%	6,47%	0,00305505
102	7,20%	6,60%	6,60%	6,80%	0,00346410
111	7,40%	6,80%	7,00%	7,07%	0,00305505
120	7,60%	7,20%	7,20%	7,33%	0,00230940
129	8,00%	7,40%	7,40%	7,60%	0,00346410
138	8,20%	7,80%	7,60%	7,87%	0,00305505
147	8,40%	8,00%	8,00%	8,13%	0,00230940
156	8,60%	8,20%	8,20%	8,33%	0,00230940
165	8,80%	8,40%	8,40%	8,53%	0,00230940
174	9,00%	8,60%	8,60%	8,73%	0,00230940
183	9,20%	8,80%	8,80%	8,93%	0,00230940
192	9,40%	9,00%	9,00%	9,13%	0,00230940
201	9,60%	9,20%	9,20%	9,33%	0,00230940
210	9,80%	9,40%	9,40%	9,53%	0,00230940
219	10,00%	9,60%	9,60%	9,73%	0,00230940
222	10,00%	9,60%	9,60%	9,73%	0,00230940
225	10,00%	9,80%	9,80%	9,87%	0,00115470
228	10,20%	9,80%	9,80%	9,93%	0,00230940
231	10,20%	9,80%	9,80%	9,93%	0,00230940
234	10,20%	9,80%	9,80%	9,93%	0,00230940
237	10,40%	10,00%	10,00%	10,13%	0,00230940
240	10,40%	10,00%	10,00%	10,13%	0,00230940
243	10,40%	10,00%	10,00%	10,13%	0,00230940
246	10,40%	10,00%	10,20%	10,20%	0,00200000
255	10,60%	10,20%	10,20%	10,33%	0,00230940
258	10,60%	10,40%	10,40%	10,47%	0,00115470
261	10,80%	10,40%	10,40%	10,53%	0,00230940
264	10,80%	10,40%	10,40%	10,53%	0,00230940

Anexo 2-3. Toma de datos para el café verde de trilla con diámetro de partícula 3,375 milímetros

TIEMPO (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00000E+00
9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00000E+00
15	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,00000E+00
21	0,40%	0,60%	0,40%	0,47%	1,15470E-03
27	0,80%	1,00%	0,80%	0,87%	1,15470E-03
33	1,40%	1,40%	1,40%	1,40%	0,00000E+00
39	1,60%	1,80%	1,60%	1,67%	1,15470E-03
45	1,80%	2,00%	1,80%	1,87%	1,15470E-03
48	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	0,00000E+00
51	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	0,00000E+00
54	2,20%	2,00%	2,20%	2,13%	1,15470E-03
57	2,20%	2,20%	2,20%	2,20%	0,00000E+00
60	2,20%	2,20%	2,20%	2,20%	0,00000E+00
63	2,20%	2,20%	2,20%	2,20%	0,00000E+00
66	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	4,24919E-18
69	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	4,24919E-18
72	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	4,24919E-18
75	2,60%	2,40%	2,60%	2,53%	1,15470E-03
78	2,60%	2,60%	2,60%	2,60%	4,24919E-18
81	2,60%	2,60%	2,60%	2,60%	4,24919E-18
84	2,60%	2,60%	2,60%	2,60%	4,24919E-18
87	2,60%	2,60%	2,60%	2,60%	4,24919E-18
90	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	0,00000E+00
93	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	0,00000E+00
96	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	0,00000E+00
99	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	0,00000E+00
102	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	0,00000E+00
105	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	0,00000E+00
108	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	0,00000E+00
111	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	0,00000E+00
114	3,20%	3,20%	3,20%	3,20%	0,00000E+00
117	3,20%	3,20%	3,20%	3,20%	0,00000E+00
120	3,20%	3,20%	3,20%	3,20%	0,00000E+00
123	3,20%	3,20%	3,20%	3,20%	0,00000E+00
126	3,40%	3,20%	3,40%	3,33%	1,15470E-03
129	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	0,00000E+00
132	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	0,00000E+00
135	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	0,00000E+00

Anexo 2-4. Toma de datos para el café verde de trilla con diámetro de partícula 1,850 milímetros

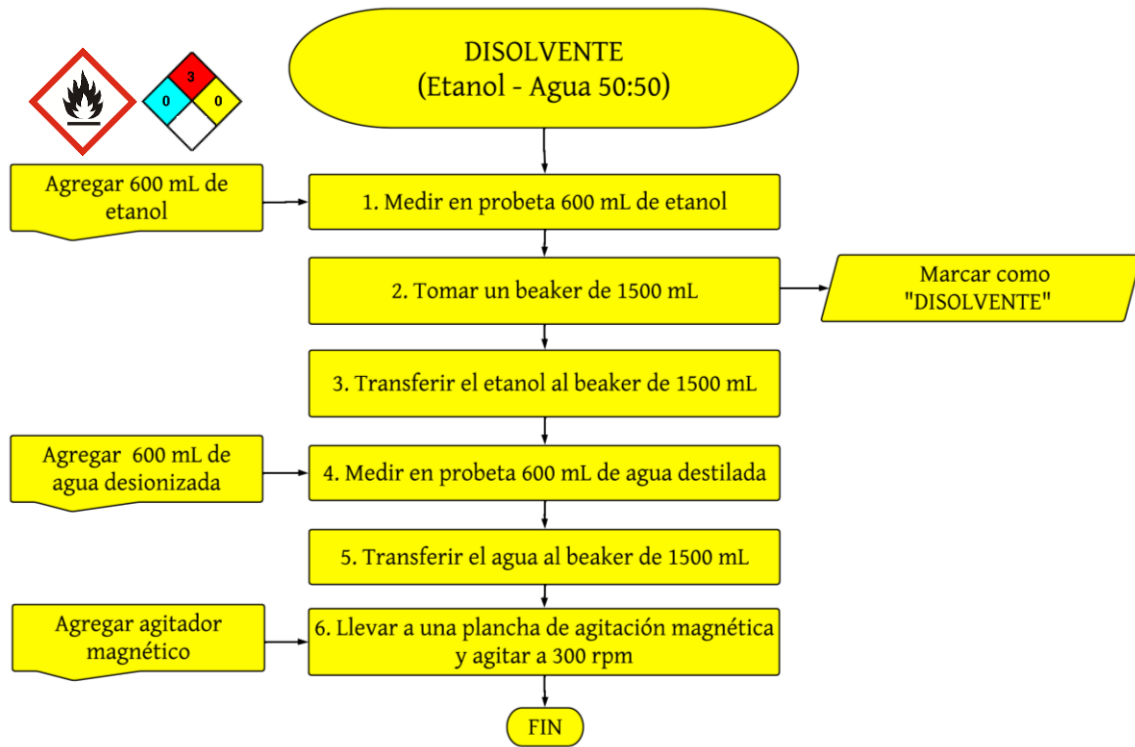
TIEMPO (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00000000
9	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,00000000
15	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%	0,00000000
21	1,60%	1,40%	1,60%	1,53%	0,00115470
27	2,60%	2,40%	2,60%	2,53%	0,00115470
33	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	0,00000000
39	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	0,00000000
45	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	0,00000000
51	4,40%	4,40%	4,40%	4,40%	0,00000000
57	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	0,00000000
63	4,80%	4,80%	4,80%	4,80%	0,00000000
69	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	0,00000000
75	5,20%	5,20%	5,20%	5,20%	0,00000000
81	5,40%	5,20%	5,40%	5,33%	0,00115470
87	5,40%	5,40%	5,40%	5,40%	0,00000000
93	5,60%	5,60%	5,60%	5,60%	0,00000000
99	5,80%	5,60%	5,80%	5,73%	0,00115470
105	6,00%	5,80%	6,00%	5,93%	0,00115470
111	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	0,00000000
117	6,20%	6,00%	6,20%	6,13%	0,00115470
123	6,40%	6,20%	6,40%	6,33%	0,00115470
126	6,40%	6,20%	6,40%	6,33%	0,00115470
129	6,40%	6,20%	6,40%	6,33%	0,00115470
132	6,40%	6,40%	6,40%	6,40%	0,00000000
135	6,60%	6,40%	6,60%	6,53%	0,00115470
138	6,60%	6,40%	0,066	6,53%	0,00115470
141	6,60%	6,60%	0,066	6,60%	0,00000000
144	6,80%	6,60%	0,068	6,73%	0,00115470
147	6,80%	6,60%	0,068	6,73%	0,00115470
150	6,80%	6,60%	0,068	6,73%	0,00115470
153	6,80%	6,80%	6,80%	6,80%	0,00000000
156	7,00%	6,80%	7,00%	6,93%	0,00115470
159	7,00%	6,80%	7,00%	6,93%	0,00115470
162	7,00%	6,80%	7,00%	6,93%	0,00115470
165	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	0,00000000
168	7,20%	7,00%	7,20%	7,13%	0,00115470
171	7,20%	7,00%	7,20%	7,13%	0,00115470

Anexo 2-5. Toma de datos para la cáscara de café fresca

Tiempo (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00000000
42	4,00%	3,80%	3,20%	3,67%	0,004163332
81	8,00%	7,20%	6,60%	7,27%	0,007023769
156	14,80%	13,20%	13,00%	13,67%	0,009865766
195	18,00%	16,20%	16,00%	16,73%	0,011015141
234	21,20%	19,40%	19,00%	19,87%	0,011718931
273	24,40%	22,40%	22,00%	22,93%	0,012858201
312	27,40%	25,20%	25,00%	25,87%	0,013316656
351	30,20%	28,00%	27,60%	28,60%	0,014000000
390	32,80%	30,40%	30,20%	31,13%	0,014468356
429	35,60%	33,00%	32,80%	33,80%	0,015620499
468	38,20%	35,60%	35,20%	36,33%	0,016289056
507	40,60%	38,00%	37,60%	38,73%	0,016289056
546	43,00%	40,20%	39,80%	41,00%	0,017435596
585	45,20%	42,40%	42,00%	43,20%	0,017435596
624	47,40%	44,60%	44,00%	45,33%	0,018147543
663	49,40%	46,80%	46,20%	47,47%	0,017009801
702	51,40%	48,80%	48,20%	49,47%	0,017009801
741	53,60%	50,80%	50,00%	51,47%	0,018903263
780	55,40%	52,60%	51,80%	53,27%	0,018903263
819	57,00%	54,20%	53,60%	54,93%	0,018147543
858	59,00%	56,00%	55,20%	56,73%	0,020033306
897	60,60%	57,60%	57,00%	58,40%	0,019287302
936	62,20%	59,20%	58,60%	60,00%	0,019287302
975	63,60%	60,80%	60,20%	61,53%	0,018147543
1014	65,00%	62,20%	61,60%	62,93%	0,018147543
1053	66,40%	63,60%	63,00%	64,33%	0,018147543
1092	67,60%	65,00%	64,20%	65,60%	0,017776389
1131	69,00%	66,20%	65,60%	66,93%	0,018147543
1170	70,20%	67,40%	66,80%	68,13%	0,018147543
1209	71,20%	68,60%	67,80%	69,20%	0,017776389
1248	72,20%	69,60%	68,80%	70,20%	0,017776389
1287	73,20%	70,60%	69,80%	71,20%	0,017776389
1329	74,20%	71,60%	70,80%	72,20%	0,017776389
1371	74,60%	72,60%	71,80%	73,00%	0,014422205
1410	74,60%	73,40%	72,20%	73,40%	0,012000000
1443	74,60%	74,00%	72,20%	73,60%	0,012489996

ANEXO 3. DIAGRAMAS DE FLUJO CON SEMAFORO DE SEGURIDAD PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO

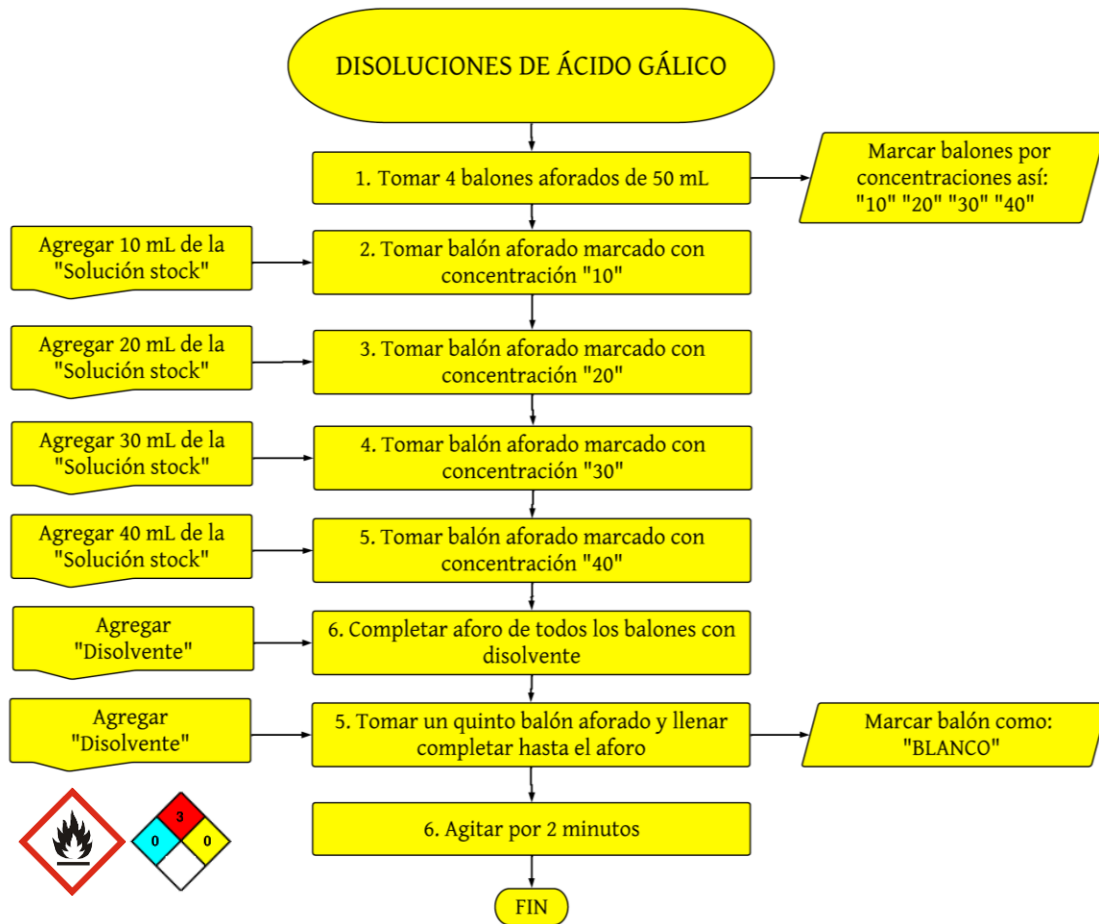
Anexo 3-1. Diagrama de flujo para la preparación del disolvente



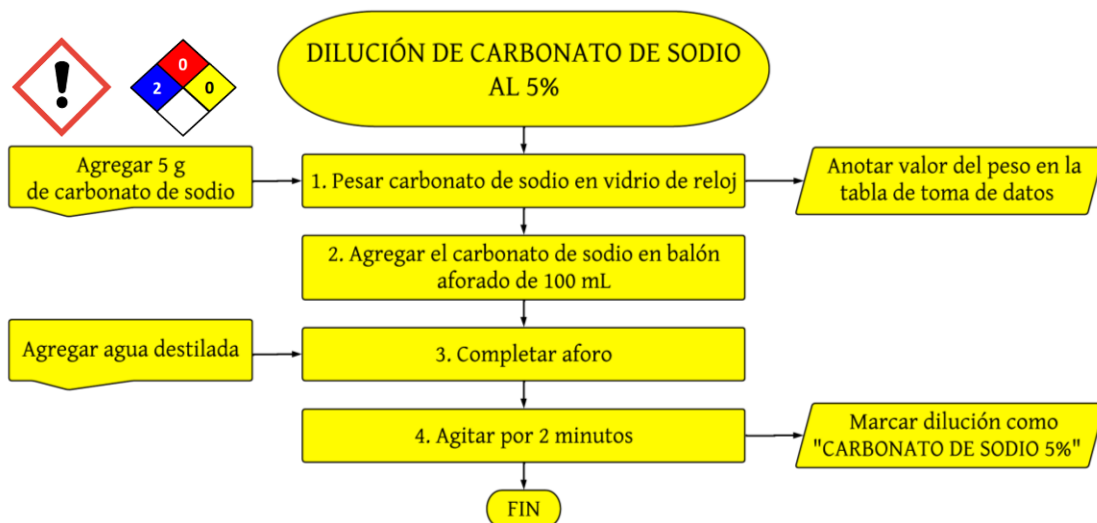
Anexo 3-2. Diagrama de flujo para la preparación de la solución stock



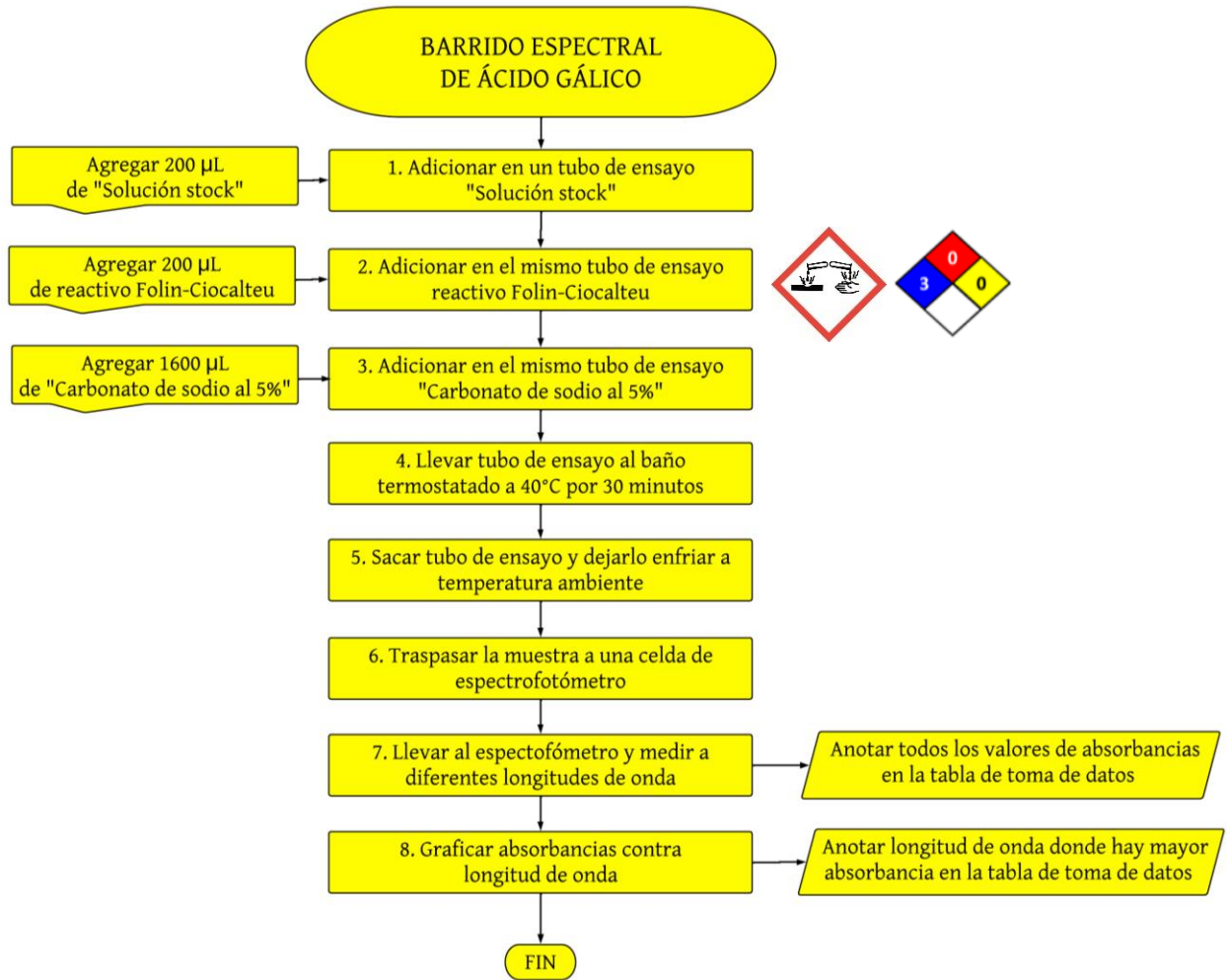
Anexo 3-3. Diagrama de flujo para la preparación de las disoluciones



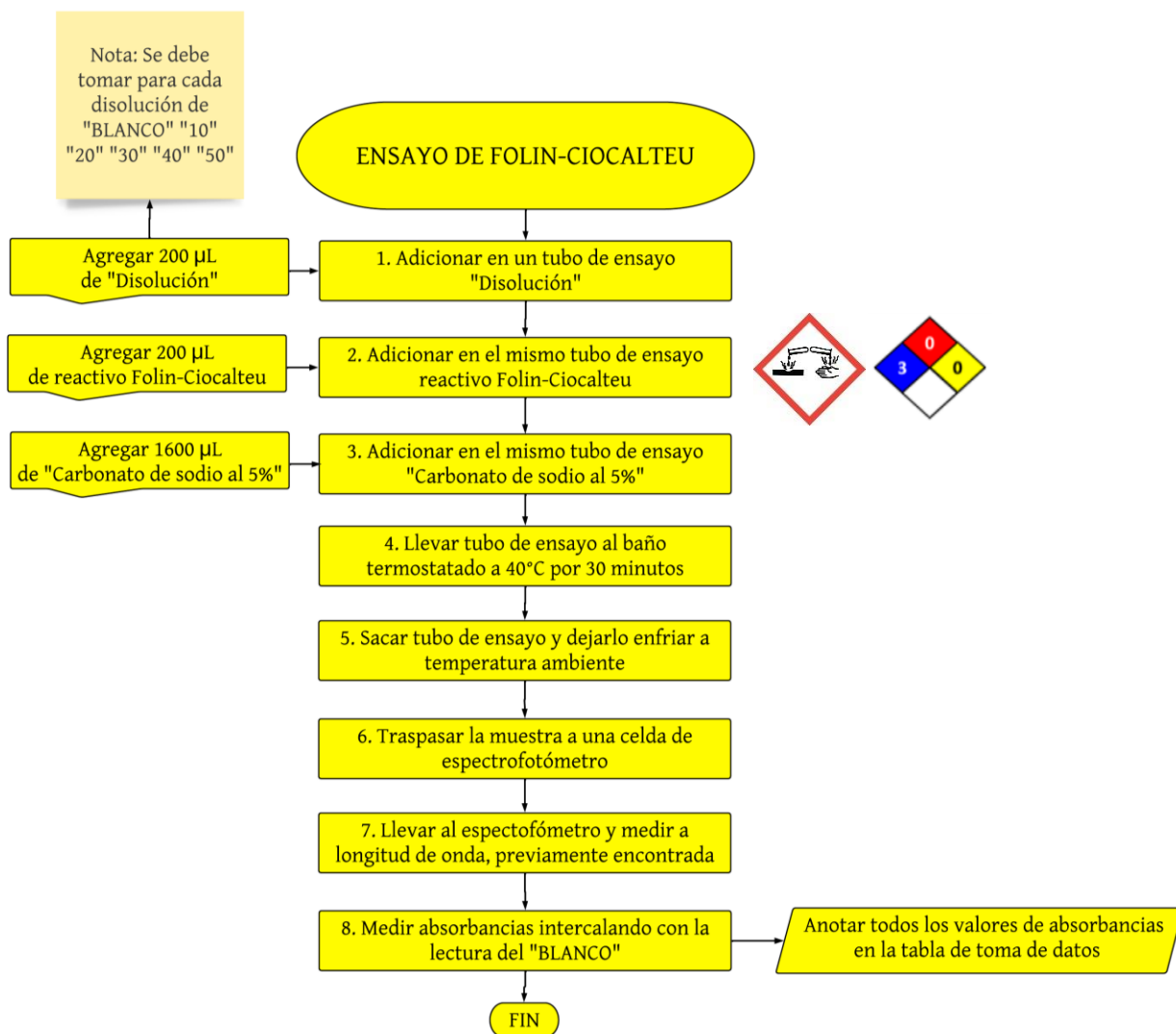
Anexo 3-4. Diagrama de flujo para la preparación de la dilución de carbonato de sodio al 5%



Anexo 3-5. Diagrama de flujo para el barrido espectral de ácido gálico



Anexo 3-6. Diagrama de flujo para los puntos de la curva de calibración de ácido gálico



ANEXO 4. TOMA DE DATOS PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO

Anexo 4-1. Toma de datos para el barrido espectral de la solución stock:

LONGITUD DE ONDA (nm)	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
410	0,730	0,725	0,728	0,7277	0,002516611
440	0,737	0,737	0,736	0,7367	0,000577350
470	0,825	0,824	0,824	0,8243	0,000577350
500	0,938	0,939	0,940	0,9390	0,001000000
530	1,049	1,048	1,049	1,0487	0,000577350
560	1,146	1,147	1,149	1,1473	0,001527525
590	1,249	1,249	1,250	1,2493	0,000577350
620	1,361	1,359	1,363	1,3610	0,002000000
650	1,445	1,445	1,445	1,4450	0,000000000
680	1,535	1,535	1,534	1,5347	0,000577350
710	1,628	1,629	1,631	1,6293	0,001527525
740	1,696	1,695	1,697	1,6960	0,001000000
750	1,717	1,716	1,715	1,7160	0,001000000
751	1,720	1,721	1,720	1,7203	0,000577350
752	1,721	1,721	1,721	1,7210	0,000000000
753	1,721	1,722	1,723	1,7220	0,001000000
754	1,724	1,723	1,723	1,7233	0,000577350
755	1,725	1,725	1,726	1,7253	0,000577350
756	1,728	1,726	1,729	1,7277	0,001527525
757	1,728	1,728	1,729	1,7283	0,000577350
758	1,729	1,729	1,730	1,7293	0,000577350
759	1,730	1,729	1,729	1,7293	0,000577350
760	1,728	1,730	1,730	1,7293	0,001154701
761	1,729	1,730	1,730	1,7297	0,000577350
762	1,730	1,731	1,730	1,7303	0,000577350
763	1,730	1,731	1,731	1,7307	0,000577350
764	1,730	1,731	1,732	1,7310	0,001000000
765	1,735	1,734	1,732	1,7337	0,001527525
766	1,731	1,732	1,732	1,7317	0,000577350
767	1,731	1,731	1,732	1,7313	0,000577350
768	1,731	1,731	1,731	1,7310	0,000000000
769	1,731	1,730	1,730	1,7303	0,000577350
770	1,728	1,729	1,728	1,7283	0,000577350
800	1,687	1,688	1,690	1,6883	0,001527525
830	1,599	1,598	1,560	1,5857	0,022233608
860	1,454	1,455	1,456	1,4550	0,001000000
890	1,326	1,327	1,326	1,3263	0,000577350
920	1,234	1,233	1,231	1,2327	0,001527525
950	1,164	1,165	1,163	1,1640	0,001000000
980	1,091	1,090	1,089	1,0900	0,001000000

Anexo 4-2. Toma de datos para la curva de calibración con ácido gálico:

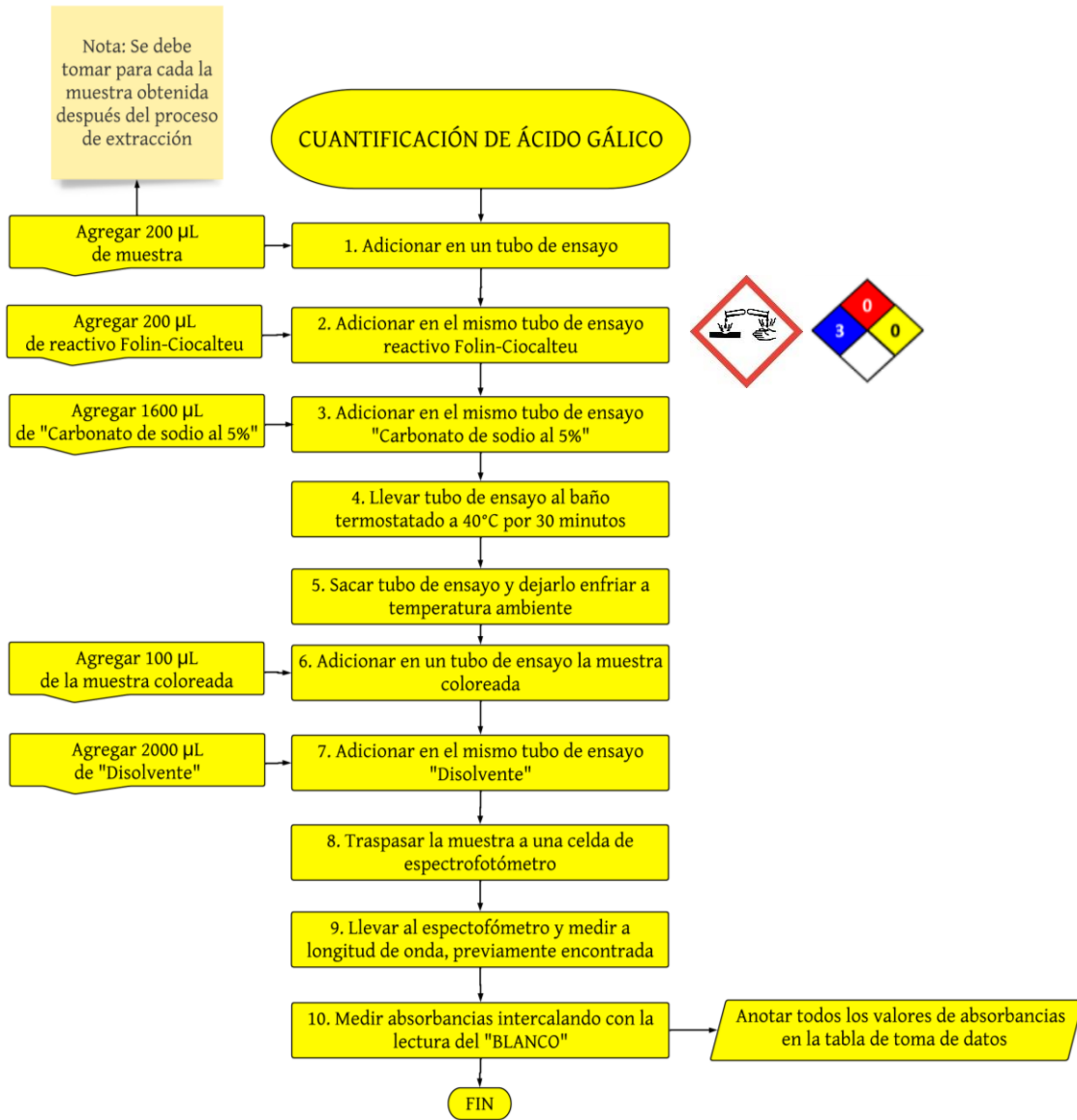
CONCENTRACIÓN	10 ppm	LONGITUD DE ONDA			765 nm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,354	0,356	0,355	0,355	0,341
RÉPLICA 2	0,327	0,326	0,322	0,325	
RÉPLICA 3	0,342	0,347	0,339	0,343	
CONCENTRACIÓN	20 ppm	LONGITUD DE ONDA			765 nm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,46	0,46	0,462	0,461	0,456
RÉPLICA 2	0,455	0,458	0,456	0,456	
RÉPLICA 3	0,453	0,452	0,452	0,452	
CONCENTRACIÓN	30 ppm	LONGITUD DE ONDA			765 nm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,56	0,561	0,566	0,562	0,540
RÉPLICA 2	0,526	0,526	0,526	0,526	
RÉPLICA 3	0,533	0,534	0,53	0,532	
CONCENTRACIÓN	40 ppm	LONGITUD DE ONDA			765 nm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,676	0,671	0,677	0,675	0,673
RÉPLICA 2	0,667	0,671	0,672	0,670	
RÉPLICA 3	0,674	0,671	0,674	0,673	
CONCENTRACIÓN	50 ppm	LONGITUD DE ONDA			765 nm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,817	0,817	0,817	0,817	0,814
RÉPLICA 2	0,818	0,819	0,82	0,819	
RÉPLICA 3	0,807	0,805	0,804	0,805	

ANEXO 5. DIAGRAMAS DE FLUJO CON SEMAFORO DE SEGURIDAD PARA LA EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Anexo 5-1. Diagrama de flujo de la extracción por ultrasonido



Anexo 5-2. Diagrama de flujo para la cuantificación de ácido gálico



ANEXO 6. TOMA DE DATOS DEL PROCESO EXTRACTIVO POR ULTRASONIDO

Anexo 6-1. Toma de datos de la pre experimentación vía húmeda

MUESTRA	CÁSCARA FRESCA				PROMEDIO TOTAL
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	
RÉPLICA 1	0,680	0,684	0,681	0,682	0,678
RÉPLICA 2	0,674	0,678	0,672	0,675	
RÉPLICA 3	0,679	0,678	0,672	0,676	

Anexo 6-2. Toma de datos para el diseño de experimentos



MUESTRA	CÁSCARA DESHIDRATADA			Dp ₁	3,375 mm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,694	0,693	0,689	0,692	0,697
RÉPLICA 2	0,700	0,696	0,694	0,697	
RÉPLICA 3	0,702	0,703	0,700	0,702	
MUESTRA	CÁSCARA DESHIDRATADA			Dp ₂	1,850 mm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,628	0,624	0,624	0,625	0,621
RÉPLICA 2	0,717	0,713	0,710	0,713	
RÉPLICA 3	0,528	0,525	0,523	0,525	
MUESTRA	CAFÉ VERDE DE TRILLA			Dp ₁	3,375 mm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,626	0,628	0,624	0,626	0,586
RÉPLICA 2	0,590	0,589	0,587	0,589	
RÉPLICA 3	0,543	0,545	0,544	0,544	
MUESTRA	CAFÉ VERDE DE TRILLA			Dp ₂	1,850 mm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,573	0,574	0,573	0,573	0,574
RÉPLICA 2	0,577	0,571	0,575	0,574	
RÉPLICA 3	0,576	0,574	0,575	0,575	

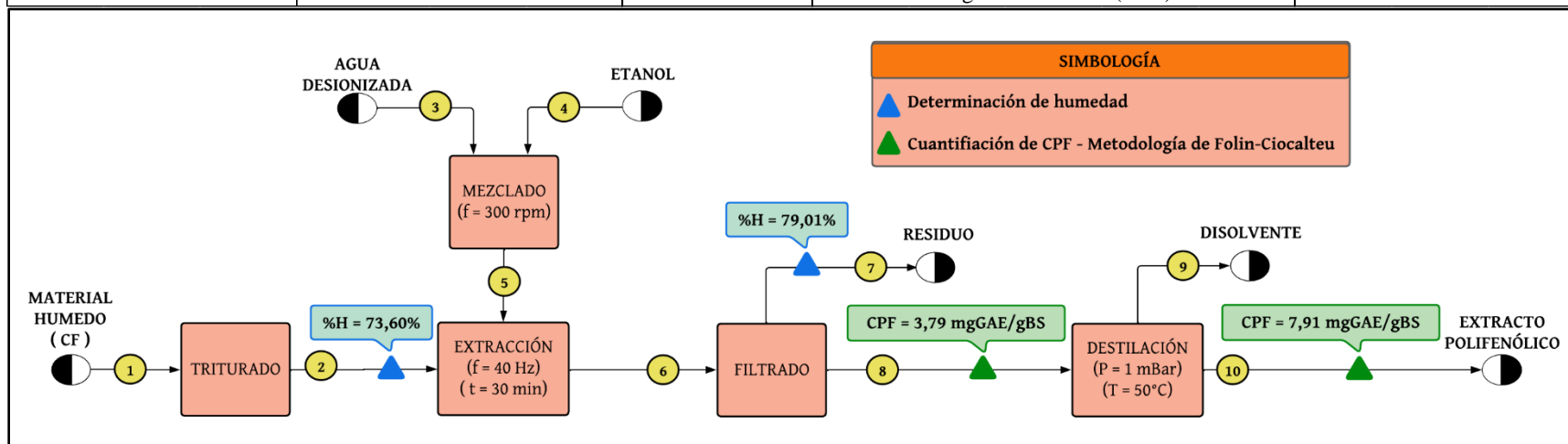
Anexo 6-3. Resultados obtenidos CPF totales del diseño de experimentos.

RESIDUO	DIÁMETRO DE PARTÍCULA (mm)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN TOTAL DE CPF mgGAE/L	CONCENTRACIÓN TOTAL DE CPF mgGAE/gBS
CÁSCARA DESHIDRATADA (CD)	Dp ₁ = 3,375	0,697 ± 0,005	872,01 ± 8,75	8,29 ± 0,08
	Dp ₂ = 1,850	0,621 ± 0,094	733,43 ± 9,29	6,15 ± 1,43
CAFÉ VERDE DE TRILLA (CVT)	Dp ₁ = 3,375	0,586 ± 0,041	669,87 ± 4,32	5,89 ± 0,65
	Dp ₂ = 1,850	0,574 ± 0,001	648,14 ± 1,52	5,58 ± 0,01

ANEXO 7. BALANCES DE MASA DEL PROCESO EXTRACTIVO DE POLIFENOLES


Anexo 7-1. Balance de masa proceso extractivo con cáscara fresca (CF)

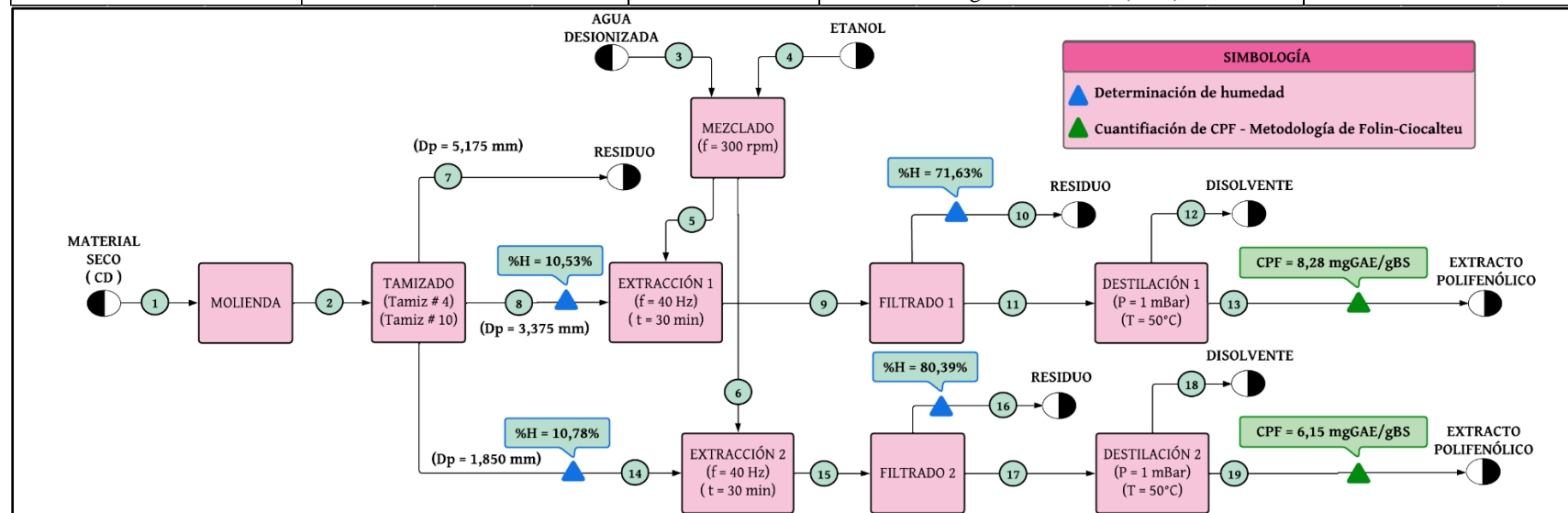
 Fundación Universidad de América	PROYECTO	Evaluación de la remoción de colorantes azoicos mediante un coagulante obtenido de residuos de café (<i>Coffea arabica</i>)			
	TITULO	Diagrama de bloques (BFD) - Proceso extractivo de CPF mediante baño de ultrasonido			
	PLANO N°	UNO (1)	DISEÑADO POR	Luis Alejandro Moreno Barriga	
	NOTA: Para este proceso se toma como materia prima el residuo de cáscara de café fresca (CF)	APROBADO POR	Angie Ximena Mejía Perilla		
		REVISADO POR	Felipe Correa Mahecha		
LOCALIZACIÓN		Bogotá - Colombia (2022)			



CORRIENTE COMPUESTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rendimiento	%
	CVT	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,00	0,00	0,00		
Agua desionizada	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Mezclado	100,00%
Etanol	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Extracción	82,50%
Disolvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	1,00	0,00		
Extracto CPF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	1,00	Filtrado	92,70%
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Cantidad másica (g)	100,00	84,75	-	-	-	10,00	9,27	-	-	-	Destilación	15,15%
Cantidad volumétrica (mL)	-	-	100,00	100,00	200,00	200,00	-	165,00	140,00	25,00		


Anexo 7-2. Balance de masa proceso extractivo con cáscara deshidratada (CD)

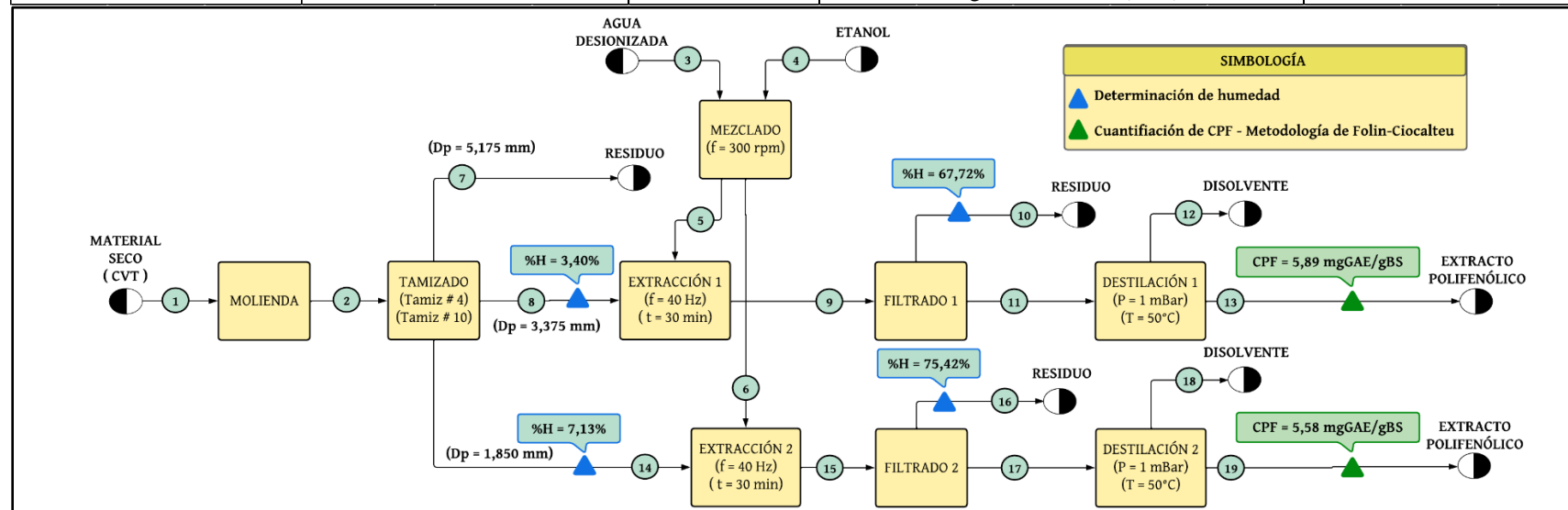
 <p>Fundación Universidad de América</p>	PROYECTO	Evaluación de la remoción de colorantes azoicos mediante un coagulante obtenido de residuos de café (<i>Coffea arabica</i>)		
	TITULO	Diagrama de bloques (BFD) - Proceso extractivo de CPF mediante baño de ultrasonido		
	PLANO N°	DOS (2)	DISEÑADO POR	Luis Alejandro Moreno Barriga
	NOTA: Para este proceso se toma como materia prima el residuo de cáscara de café deshidratada (CD)	APROBADO POR	Angie Ximena Mejía Perilla	
		REVISADO POR	Felipe Correa Mahecha	
	LOCALIZACIÓN	Bogotá - Colombia (2022)		



CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Rendimiento	%	
COMPUESTO																					Molienda	96,50%
CD	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,00	0,00	Tamizado	96,00%	
Agua desionizada	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Mezclado	100,00%	
Etanol	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Extracción 1	87,50%	
Disolvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,00	0,00	Extracción 2	80,00%	
Extracto CPF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	1,00	0,00	0,00	0,47	0,00	1,00	Filtrado 1	98,70%	
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	Filtrado 2	97,30%
Cantidad mássica (g)	100,00	96,50	-	-	-	-	18,50	41,00	10,00	9,87	-	-	-	34,00	10,00	9,73	-	-	-	Destilación 1	48,57%	
Cantidad volumétrica (mL)	-	-	400,00	400,00	200,00	200,00	-	-	200,00	-	175,00	90,00	85,00	-	200,00	-	160,00	85,00	75,00	Destilación 2	46,88%	



Anexo 7-3. Balance de masa proceso extractivo con café verde de trilla (CVT)

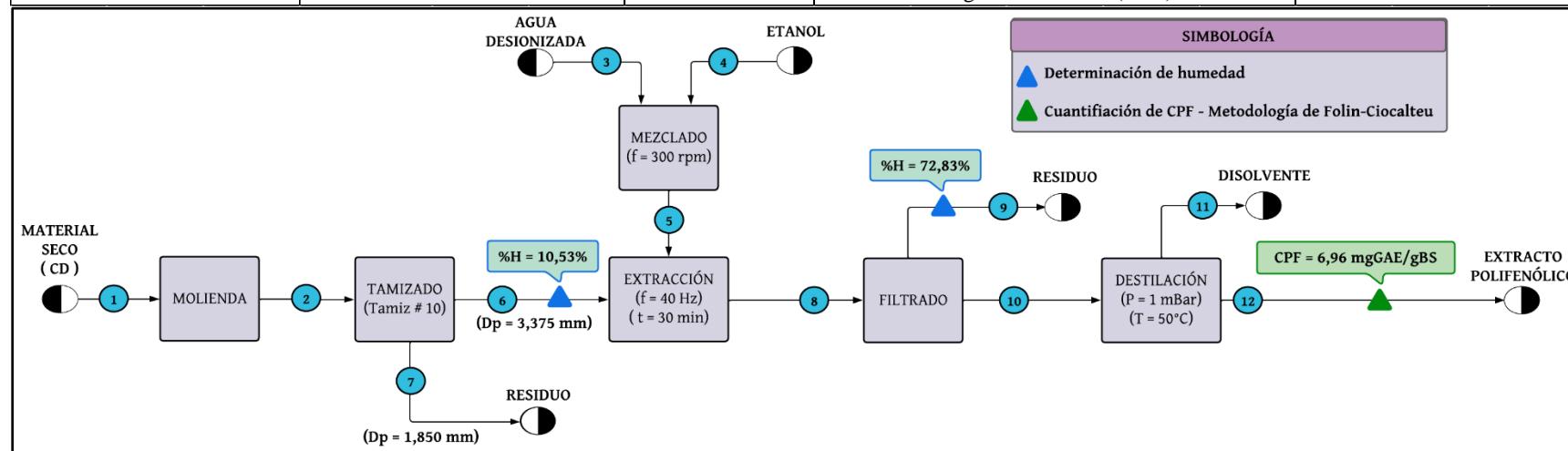
 <p>Fundación Universidad de América</p>	PROYECTO	Evaluación de la remoción de colorantes azoicos mediante un coagulante obtenido de residuos de café (<i>Coffea arabica</i>)		
	TITULO	Diagrama de bloques (BFD) - Proceso extractivo de CPF mediante baño de ultrasonido		
	PLANO N°	TRES (3)	DISEÑADO POR	Luis Alejandro Moreno Barriga
	NOTA: Para este proceso se toma como materia prima el residuo de café verde de trilla (CVT)	APROBADO POR	Angie Ximena Mejía Perilla	
		REVISADO POR	Felipe Correa Mahecha	
	LOCALIZACIÓN	Bogotá - Colombia (2022)		



CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Rendimiento	%	
COMPUESTO																					Molienda	88,50%
CVT	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,00	0,00	Tamizado	98,31%	
Agua desionizada	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Mezclado	100,00%	
Etanol	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Extracción 1	90,00%	
Disolvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,00	0,00	Extracción 2	85,00%	
Extracto CPF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	1,00	Filtrado 1	98,20%	
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Filtrado 2	97,50%	
Cantidad másica (g)	100,00	88,50	-	-	-	-	28,50	41,00	10,00	9,82	-	-	-	17,50	10,00	9,75	-	-	-	Destilación 1	47,22%	
Cantidad volumétrica (mL)	-	-	400,00	400,00	200,00	200,00	-	-	200,00	-	180,00	95,00	85,00	-	200,00	-	170,00	90,00	80,00	Destilación 2	47,06%	

Anexo 7-4. Balance de masa proceso extractivo a mayor escala con cáscara deshidratada (CD)

 <p>Fundación Universidad de América</p>	PROYECTO	Evaluación de la remoción de colorantes azoicos mediante un coagulante obtenido de residuos de café (<i>Coffea arabica</i>)			 <p>Tecnoparque Colombia</p>
	TITULO	Diagrama de bloques (BFD) - Proceso extractivo de CPF mediante baño de ultrasonido			
	PLANO N°	CUATRO (4)	DISEÑADO POR	Luis Alejandro Moreno Barriga	
	NOTA: Para este proceso se toma como materia prima el residuo de cáscara de café deshidratada (CD)	APROBADO POR	Angie Ximena Mejía Perilla		
		REVISADO POR	Felipe Correa Mahecha		
LOCALIZACIÓN		Bogotá - Colombia (2022)			



CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rendimiento	%
COMPUESTO														
CD	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,00	0,00	Molienda	94,13%
Agua desionizada	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Tamizado	98,27%
Etanol	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Mezclado	100,00%
Disolvente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,00	0,00	Extracción	87,50%
Extracto CPF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	1,00	Filtrado	95,36%
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Cantidad másica (g)	120,00	112,95	-	-	-	100,00	12,95	100,00	95,36	-	-	-	Destilación	49,26%
Cantidad volumétrica (mL)	-	-	1000,00	1000,00	2000,00	-	-	2000,00	-	1750,00	888,00	862,00		

**ANEXO 8. TOMA DE DATOS DEL PROCESO EXTRACTIVO A MAYOR ESCALA CON
CÁSCARA DESHIDRATADA (CD)**

Anexo 8-1. Toma de datos del proceso extractivo a mayor escala con cáscara deshidratada (CD)

MUESTRA	CÁSCARA DESHIDRATADA			Dp	3,375 mm
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL
RÉPLICA 1	0,603	0,602	0,605	0,603	0,602
RÉPLICA 2	0,596	0,599	0,598	0,598	
RÉPLICA 3	0,607	0,605	0,606	0,606	

**ANEXO 9. TOMA DE DATOS PARA EL BARRIDO ESPECTRAL DE LOS COLORANTES
AZOICOS**

Anexo 9-1. Toma de datos para el barrido espectral del colorante amarillo ácido #36:

LONGITUD DE ONDA (nm)	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
349	0,099	0,103	0,102	0,1013	0,002081666
355	0,122	0,127	0,125	0,1247	0,002516611
361	0,150	0,150	0,155	0,1517	0,002886751
367	0,189	0,188	0,193	0,1900	0,002645751
372	0,224	0,224	0,229	0,2257	0,002886751
378	0,270	0,271	0,275	0,2720	0,002645751
384	0,316	0,318	0,321	0,3183	0,002516611
390	0,360	0,363	0,366	0,3630	0,003000000
396	0,399	0,402	0,405	0,4020	0,003000000
402	0,432	0,435	0,438	0,4350	0,003000000
408	0,458	0,461	0,464	0,4610	0,003000000
414	0,479	0,481	0,485	0,4817	0,003055050
420	0,498	0,501	0,501	0,5000	0,001732051
426	0,508	0,511	0,510	0,5097	0,001527525
432	0,515	0,518	0,517	0,5167	0,001527525
440	0,520	0,523	0,523	0,5220	0,001732051
441	0,521	0,524	0,523	0,5227	0,001527525
442	0,522	0,524	0,524	0,5233	0,001154701
443	0,521	0,524	0,523	0,5227	0,001527525
444	0,521	0,524	0,523	0,5227	0,001527525
452	0,516	0,519	0,518	0,5177	0,001527525
458	0,504	0,507	0,506	0,5057	0,001527525
464	0,484	0,487	0,487	0,4860	0,001732051
470	0,456	0,459	0,458	0,4577	0,001527525
476	0,420	0,424	0,422	0,4220	0,002000000
482	0,379	0,383	0,382	0,3813	0,002081666
488	0,335	0,338	0,337	0,3367	0,001527525
494	0,288	0,291	0,290	0,2897	0,001527525
500	0,242	0,245	0,244	0,2437	0,001527525
506	0,199	0,202	0,202	0,2010	0,001732051
512	0,160	0,163	0,162	0,1617	0,001527525
518	0,124	0,127	0,126	0,1257	0,001527525
524	0,092	0,095	0,094	0,0937	0,001527525
531	0,061	0,063	0,063	0,0623	0,001154701
537	0,041	0,043	0,043	0,0423	0,001154701
543	0,027	0,030	0,030	0,0290	0,001732051
549	0,018	0,022	0,021	0,0203	0,002081666
555	0,013	0,016	0,015	0,0147	0,001527525
561	0,009	0,013	0,012	0,0113	0,002081666
570	0,007	0,010	0,010	0,0090	0,001732051

Anexo 9-2. Toma de datos para el barrido espectral del colorante rojo ácido #88:

LONGITUD DE ONDA (nm)	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
350	0,111	0,113	0,117	0,1137	0,003055050
357	0,101	0,104	0,107	0,1040	0,003000000
364	0,103	0,102	0,101	0,1020	0,001000000
371	0,106	0,106	0,105	0,1057	0,000577350
378	0,113	0,112	0,111	0,1120	0,001000000
385	0,119	0,119	0,118	0,1187	0,000577350
392	0,128	0,128	0,127	0,1277	0,000577350
399	0,139	0,138	0,138	0,1383	0,000577350
406	0,152	0,151	0,150	0,1510	0,001000000
413	0,164	0,163	0,163	0,1633	0,000577350
420	0,178	0,176	0,175	0,1763	0,001527525
427	0,190	0,188	0,187	0,1883	0,001527525
434	0,203	0,201	0,200	0,2013	0,001527525
441	0,217	0,215	0,214	0,2153	0,001527525
448	0,235	0,233	0,232	0,2333	0,001527525
455	0,258	0,257	0,256	0,2570	0,001000000
462	0,290	0,289	0,289	0,2893	0,000577350
469	0,329	0,327	0,327	0,3277	0,001154701
476	0,369	0,368	0,368	0,3683	0,000577350
483	0,408	0,407	0,408	0,4077	0,000577350
490	0,444	0,444	0,444	0,4440	0,000000000
497	0,473	0,473	0,474	0,4733	0,000577350
504	0,486	0,487	0,487	0,4867	0,000577350
505	0,486	0,487	0,488	0,4870	0,001000000
506	0,486	0,487	0,487	0,4867	0,000577350
513	0,476	0,477	0,477	0,4767	0,000577350
520	0,453	0,454	0,454	0,4537	0,000577350
527	0,424	0,424	0,424	0,4240	0,000000000
534	0,393	0,393	0,393	0,3930	0,000000000
541	0,358	0,358	0,358	0,3580	0,000000000
548	0,321	0,321	0,320	0,3207	0,000577350
555	0,280	0,279	0,279	0,2793	0,000577350
562	0,235	0,234	0,233	0,2340	0,001000000
569	0,192	0,191	0,190	0,1910	0,001000000
576	0,152	0,150	0,149	0,1503	0,001527525
583	0,118	0,116	0,115	0,1163	0,001527525
590	0,093	0,091	0,089	0,0910	0,002000000
597	0,073	0,071	0,070	0,0713	0,001527525
604	0,059	0,056	0,055	0,0567	0,002081666
611	0,048	0,046	0,045	0,0463	0,001527525
618	0,041	0,039	0,038	0,0393	0,001527525
619	0,040	0,038	0,037	0,0383	0,001527525
620	0,040	0,037	0,036	0,0377	0,002081666

**ANEXO 10. TOMA DE DATOS PARA EL BARRIDO ESPECTRAL DE LOS
COLORANTES, VARIANDO EL pH**

Anexo 10-1. Toma de datos para el barrido espectral del colorante amarillo ácido #36:

pH	3,41	5,52	6,82	9,28	10,41
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA
400	0,237	0,244	0,244	0,241	0,241
405	0,251	0,258	0,258	0,255	0,255
410	0,262	0,270	0,269	0,266	0,266
415	0,271	0,279	0,278	0,275	0,275
420	0,279	0,286	0,285	0,282	0,282
425	0,284	0,291	0,290	0,287	0,287
430	0,287	0,294	0,294	0,290	0,291
435	0,290	0,297	0,296	0,293	0,293
440	0,291	0,298	0,297	0,294	0,294
441	0,291	0,298	0,297	0,294	0,295
442	0,292	0,298	0,298	0,294	0,295
443	0,292	0,298	0,298	0,294	0,294
444	0,292	0,298	0,297	0,294	0,294
445	0,292	0,298	0,297	0,294	0,294
450	0,290	0,297	0,296	0,292	0,292
455	0,286	0,292	0,291	0,288	0,288
460	0,279	0,285	0,283	0,280	0,279
465	0,270	0,274	0,272	0,269	0,268
470	0,256	0,259	0,257	0,255	0,253
475	0,240	0,242	0,240	0,237	0,236
480	0,221	0,223	0,219	0,217	0,215
485	0,201	0,201	0,198	0,196	0,194
490	0,180	0,179	0,174	0,173	0,171
495	0,158	0,156	0,151	0,150	0,148
500	0,136	0,132	0,127	0,126	0,125
505	0,115	0,110	0,105	0,104	0,102
510	0,096	0,091	0,085	0,085	0,083
515	0,079	0,072	0,066	0,066	0,065
520	0,063	0,055	0,050	0,050	0,049
525	0,048	0,040	0,035	0,035	0,035
530	0,035	0,028	0,022	0,022	0,022
535	0,025	0,017	0,012	0,012	0,013
540	0,017	0,010	0,004	0,005	0,005

Anexo 10-2. Toma de datos para el barrido espectral del colorante rojo ácido #88:

pH	3,25	5,02	6,92	9,22	10,39
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA
400	0,084	0,085	0,086	0,081	0,070
405	0,090	0,091	0,093	0,088	0,076
410	0,097	0,098	0,099	0,094	0,083
415	0,103	0,104	0,106	0,101	0,090
420	0,110	0,111	0,113	0,108	0,097
425	0,116	0,117	0,119	0,115	0,104
430	0,123	0,124	0,126	0,123	0,110
435	0,129	0,130	0,133	0,130	0,118
440	0,137	0,138	0,141	0,138	0,125
445	0,145	0,146	0,149	0,147	0,134
450	0,156	0,157	0,160	0,158	0,145
455	0,170	0,171	0,175	0,172	0,160
460	0,187	0,188	0,192	0,189	0,177
465	0,206	0,208	0,212	0,209	0,197
470	0,228	0,230	0,235	0,230	0,220
475	0,251	0,252	0,258	0,252	0,243
480	0,273	0,275	0,281	0,274	0,267
485	0,295	0,297	0,303	0,295	0,289
490	0,315	0,318	0,324	0,314	0,311
495	0,334	0,337	0,343	0,332	0,330
500	0,347	0,350	0,356	0,345	0,343
505	0,353	0,357	0,363	0,351	0,350
506	0,354	0,357	0,364	0,351	0,350
507	0,354	0,357	0,364	0,351	0,350
508	0,353	0,357	0,364	0,351	0,350
509	0,353	0,357	0,363	0,351	0,350
510	0,352	0,356	0,362	0,351	0,349
515	0,345	0,348	0,355	0,344	0,342
520	0,334	0,337	0,344	0,333	0,330
525	0,320	0,322	0,329	0,319	0,315
530	0,303	0,306	0,312	0,304	0,299
535	0,285	0,287	0,294	0,286	0,280
540	0,265	0,267	0,274	0,267	0,260
545	0,244	0,246	0,253	0,246	0,239
550	0,221	0,223	0,229	0,223	0,215

Anexo 10-3. Toma de datos para el cambio de tonalidades del colorante azoico amarillo ácido # 36 por la variación de pH

pH	6,70	3,40	2,83	2,54
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA
380	0,073	0,065	0,069	0,065
390	0,113	0,103	0,102	0,098
400	0,143	0,133	0,130	0,124
410	0,165	0,155	0,150	0,143
420	0,178	0,168	0,163	0,158
430	0,185	0,176	0,170	0,166
440	0,189	0,180	0,175	0,173
450	0,189	0,180	0,176	0,176
460	0,181	0,172	0,171	0,175
470	0,161	0,153	0,157	0,168
480	0,132	0,126	0,135	0,151
490	0,098	0,093	0,107	0,129
500	0,061	0,059	0,077	0,107
510	0,028	0,028	0,051	0,085
520	0,000	0,001	0,027	0,065
530	0,000	0,000	0,007	0,046
540	0,000	0,000	0,000	0,029
550	0,000	0,000	0,000	0,016

pH	2,03	1,76	1,66	1,42
LONGITUD DE ONDA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA	ABSORBANCIA
440	0,020	0,021	0,108	0,062
450	0,030	0,043	0,129	0,092
460	0,042	0,067	0,153	0,133
470	0,055	0,094	0,179	0,183
480	0,061	0,119	0,204	0,236
490	0,065	0,141	0,227	0,289
500	0,068	0,160	0,248	0,340
510	0,067	0,172	0,262	0,379
520	0,061	0,173	0,266	0,399
530	0,049	0,163	0,256	0,397
540	0,031	0,141	0,234	0,370
550	0,008	0,106	0,199	0,322
560	0,000	0,062	0,155	0,258
570	0,000	0,015	0,108	0,189
580	0,000	0,000	0,065	0,123

**ANEXO 11. TOMA DE DATOS DE LA PRE EXPERIMENTACIÓN PARA LA
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE**

Anexo11-1. Toma de datos para el % de remoción sin extracto en el colorante amarillo ácido#36:

COLORANTE AMARILLO ÁCIDO # 36					% DE REMOCIÓN SIN EXTRACTO			
pH	ANTES DE FILTRADO				DESPUÉS DE FILTRADO			
	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ
3,41	0,295	0,292	0,03	0,03	0,189	0,186	0,02	0,02
	0,290		0,03		0,184		0,02	
	0,292		0,02		0,186		0,01	
5,52	0,295	0,298	0,02	0,02	0,188	0,185	0,01	0,01
	0,300		0,03		0,185		0,02	
	0,298		0,02		0,183		0,01	
6,82	0,301	0,298	0,02	0,02	0,184	0,184	0,01	0,01
	0,296		0,02		0,186		0,01	
	0,298		0,03		0,181		0,01	
9,28	0,294	0,294	0,03	0,03	0,189	0,190	0,02	0,02
	0,297		0,03		0,192		0,02	
	0,292		0,02		0,188		0,01	
10,41	0,298	0,295	0,02	0,02	0,191	0,191	0,01	0,02
	0,293		0,03		0,186		0,02	
	0,295		0,02		0,195		0,02	

Anexo11-2. Toma de datos para el % de remoción con extracto en el colorante amarillo ácido#36:

COLORANTE AMARILLO ÁCIDO # 36					% DE REMOCIÓN CON EXTRACTO			
pH	ANTES DE FILTRADO				DESPUÉS DE FILTRADO			
	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ
3,41	0,515	0,511	13,72	13,73	0,164	0,162	1,98	1,94
	0,508		13,77		0,162		1,93	
	0,510		13,7		0,16		1,91	
5,52	0,522	0,523	13,81	13,83	0,167	0,165	1,85	1,85
	0,524		13,85		0,163		1,88	
	0,523		13,84		0,165		1,83	
6,82	0,500	0,497	15,63	15,64	0,152	0,149	1,64	1,68
	0,494		15,6		0,146		1,62	
	0,497		15,68		0,149		1,78	
9,28	0,506	0,503	13,78	13,75	0,156	0,156	1,99	1,98
	0,503		13,73		0,153		2,00	
	0,500		13,75		0,158		1,95	
10,41	0,500	0,500	15,88	15,87	0,163	0,163	2,42	2,42
	0,499		15,83		0,166		2,41	
	0,502		15,9		0,161		2,44	

Anexo 11-3. Tabla de resultados para el % de remoción en el colorante amarillo ácido # 36:

COLORANTE AMARILLO ÁCIDO # 36												
pH	% DE REMOCIÓN SIN EXTRACTO				% DE REMOCIÓN CON EXTRACTO				% DE REMOCIÓN TOTAL			
	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	PORCENTAJE DE TURBIDEZ	PROMEDIO PORCENTAJE DE TURBIDEZ	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	PORCENTAJE DE TURBIDEZ	PROMEDIO PORCENTAJE DE TURBIDEZ	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	AUMENTO DE TURBIDEZ	PROMEDIO AUMENTO DE TURBIDEZ
3,41	35,93%	36,26%	33,33%	38,89%	68,16%	68,30%	85,57%	85,87%	44,41%	44,58%	1,95	1,91
	36,55%		33,33%		68,11%		85,98%		44,14%		1,90	
	36,30%		50,00%		68,63%		86,06%		45,21%		1,89	
5,52	36,27%	37,73%	50,00%	44,44%	68,01%	68,45%	86,60%	86,60%	43,39%	44,56%	1,83	1,83
	38,33%		33,33%		68,89%		86,43%		45,67%		1,85	
	38,59%		50,00%		68,45%		86,78%		44,63%		1,81	
6,82	38,87%	38,43%	50,00%	55,56%	69,60%	70,02%	89,51%	89,26%	49,50%	50,06%	1,62	1,66
	37,16%		50,00%		70,45%		89,62%		50,68%		1,60	
	39,26%		66,67%		70,02%		88,65%		50,00%		1,75	
9,28	35,71%	35,56%	33,33%	38,89%	69,17%	69,05%	85,56%	85,60%	46,94%	47,10%	1,96	1,95
	35,35%		33,33%		69,58%		85,43%		48,48%		1,97	
	35,62%		50,00%		68,40%		85,82%		45,89%		1,93	
10,41	35,91%	35,44%	50,00%	27,78%	67,40%	67,35%	84,76%	84,73%	45,30%	44,69%	2,40	2,40
	36,52%		33,33%		66,73%		84,78%		43,34%		2,38	
	33,90%		0,00%		67,93%		84,65%		45,42%		2,42	

Anexo 11-4. Toma de datos para el % de remoción sin extracto en el colorante rojo ácido #88:

COLORANTE ROJO ÁCIDO # 88					% DE REMOCIÓN SIN EXTRACTO			
pH	ANTES DE FILTRADO				DESPUÉS DE FILTRADO			
	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ
3,25	0,354	0,354	0,05	0,06	0,238	0,235	0,03	0,03
	0,355		0,06		0,233		0,04	
	0,353		0,06		0,235		0,03	
5,02	0,358	0,357	0,05	0,05	0,234	0,230	0,02	0,02
	0,357		0,04		0,227		0,02	
	0,355		0,05		0,230		0,03	
6,92	0,369	0,367	0,07	0,06	0,245	0,237	0,04	0,04
	0,364		0,06		0,232		0,03	
	0,367		0,06		0,235		0,04	
9,22	0,355	0,352	0,06	0,05	0,236	0,233	0,03	0,03
	0,350		0,05		0,231		0,03	
	0,351		0,04		0,233		0,03	
10,39	0,354	0,351	0,06	0,06	0,247	0,244	0,05	0,04
	0,350		0,07		0,241		0,04	
	0,350		0,06		0,245		0,04	

Anexo 11-5. Toma de datos para el % de remoción con extracto en el colorante rojo ácido #88:

COLORANTE ROJO ÁCIDO # 88					% DE REMOCIÓN CON EXTRACTO			
pH	ANTES DE FILTRADO				DESPUÉS DE FILTRADO			
	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ	ABSORBANCIA	PROMEDIO ABSORBANCIA	TURBIDEZ (NTU)	PROMEDIO TURBIDEZ
3,25	0,452	0,453	15,34	15,60	0,150	0,146	2,76	2,67
	0,454		15,42		0,142		2,64	
	0,453		16,03		0,145		2,61	
5,02	0,469	0,465	16,47	16,47	0,148	0,144	2,11	2,10
	0,462		16,51		0,140		2,08	
	0,465		16,43		0,143		2,10	
6,92	0,472	0,470	14,42	14,37	0,157	0,152	2,87	2,84
	0,466		14,37		0,150		2,84	
	0,471		14,32		0,149		2,81	
9,22	0,468	0,472	11,42	11,44	0,162	0,165	2,85	2,84
	0,473		11,58		0,168		2,81	
	0,474		11,32		0,164		2,86	
10,39	0,474	0,476	12,36	12,40	0,168	0,164	3,04	3,10
	0,473		12,21		0,164		3,12	
	0,480		12,64		0,161		3,15	

Anexo 11-6. Tabla de resultados para el % de remoción en el colorante rojo# 88:

COLORANTE ROJO ÁCIDO # 88												
pH	% DE REMOCIÓN SIN EXTRACTO				% DE REMOCIÓN CON EXTRACTO				% DE REMOCIÓN TOTAL			
	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	PORCENTAJE DE TURBIDEZ	PROMEDIO PORCENTAJE DE TURBIDEZ	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	PORCENTAJE DE TURBIDEZ	PROMEDIO PORCENTAJE DE TURBIDEZ	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR	AUMENTO DE TURBIDEZ	PROMEDIO AUMENTO DE TURBIDEZ
3,41	32,77%	33,52%	40,00%	41,11%	66,81%	67,84%	82,01%	82,87%	57,63%	58,85%	2,71	2,61
	34,37%		33,33%		68,72%		82,88%		60,00%		2,58	
	33,43%		50,00%		67,99%		83,72%		58,92%		2,55	
5,52	34,64%	35,42%	60,00%	50,00%	68,44%	69,13%	87,19%	87,27%	58,66%	59,72%	2,06	2,05
	36,41%		50,00%		69,70%		87,40%		60,78%		2,04	
	35,21%		40,00%		69,25%		87,22%		59,72%		2,05	
6,82	33,60%	35,28%	42,86%	42,06%	66,74%	67,64%	80,10%	80,24%	57,45%	58,55%	2,80	2,78
	36,26%		50,00%		67,81%		80,24%		58,79%		2,78	
	35,97%		33,33%		68,37%		80,38%		59,40%		2,75	
9,28	33,52%	33,71%	50,00%	38,33%	65,38%	65,09%	75,04%	75,17%	54,37%	53,21%	2,79	2,79
	34,00%		40,00%		64,48%		75,73%		52,00%		2,76	
	33,62%		25,00%		65,40%		74,73%		53,28%		2,82	
10,41	30,23%	30,46%	16,67%	30,95%	64,56%	65,45%	75,40%	74,98%	52,54%	53,23%	2,98	3,04
	31,14%		42,86%		65,33%		74,45%		53,14%		3,05	
	30,00%		33,33%		66,46%		75,08%		54,00%		3,09	

**ANEXO 12. TOMA DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA EVALUACIÓN
DE LA ACTIVIDAD COAGULANTE**

Anexo 12-1. Tabla diseño de experimentos % de remoción en el colorante amarillo ácido # 36:

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			10
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,37	0,275	0,275	0,168	0,168	38,91%	38,98%
	0,277		0,170		38,63%	
	0,274		0,166		39,42%	
7,10	0,268	0,268	0,148	0,148	44,78%	44,65%
	0,270		0,147		45,56%	
	0,266		0,150		43,61%	
8,42	0,267	0,267	0,172	0,172	35,58%	35,69%
	0,271		0,169		37,64%	
	0,263		0,174		33,84%	

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			15
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,46	0,275	0,275	0,163	0,163	40,73%	40,61%
	0,277		0,166		40,07%	
	0,273		0,161		41,03%	
7,17	0,269	0,269	0,135	0,135	49,81%	49,76%
	0,272		0,138		49,26%	
	0,265		0,132		50,19%	
8,37	0,267	0,268	0,171	0,171	35,96%	36,12%
	0,271		0,175		35,42%	
	0,265		0,167		36,98%	

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			20
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,39	0,275	0,275	0,166	0,166	39,64%	39,64%
	0,277		0,168		39,35%	
	0,273		0,164		39,93%	
7,13	0,269	0,269	0,141	0,141	47,58%	47,70%
	0,270		0,137		49,26%	
	0,268		0,144		46,27%	
8,44	0,268	0,268	0,176	0,176	34,33%	34,33%
	0,267		0,174		34,83%	
	0,269		0,178		33,83%	

Anexo 12-2. Tabla diseño de experimentos % de remoción en el colorante rojo ácido # 88:

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			10
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,96	0,341	0,341	0,289	0,289	15,25%	15,33%
	0,343		0,292		14,87%	
	0,340		0,286		15,88%	
5,24	0,421	0,421	0,179	0,179	57,48%	57,56%
	0,423		0,175		58,63%	
	0,419		0,182		56,56%	
6,77	0,447	0,447	0,277	0,277	38,03%	38,08%
	0,450		0,280		37,78%	
	0,445		0,274		38,43%	

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			15
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,97	0,349	0,349	0,281	0,281	19,48%	19,57%
	0,346		0,284		17,92%	
	0,352		0,277		21,31%	
5,23	0,420	0,420	0,171	0,171	59,29%	59,37%
	0,425		0,174		59,06%	
	0,415		0,167		59,76%	
6,72	0,448	0,448	0,238	0,238	46,88%	46,88%
	0,449		0,240		46,55%	
	0,447		0,236		47,20%	

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE COAGULANTE (mg/L)			20
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,93	0,358	0,358	0,297	0,297	17,04%	17,04%
	0,360		0,295		18,06%	
	0,356		0,299		16,01%	
5,19	0,422	0,422	0,177	0,177	58,06%	58,10%
	0,417		0,174		58,27%	
	0,426		0,179		57,98%	
6,75	0,443	0,443	0,261	0,261	41,08%	41,04%
	0,446		0,260		41,70%	
	0,439		0,262		40,32%	

**ANEXO 13. TOMA DE DATOS DE LA PRE EXPERIMENTACIÓN PARA LA
COMPARACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO**

Anexo 13-1. Tabla de datos para la dosis mínima de sulfato de aluminio para el colorante amarillo ácido # 36

DOSIS (mg)	ABSORBANCIA INICIAL	ABSORBANCIA FINAL	% REMOCIÓN DE COLOR
150	0,298	0,001	99,66%
120	0,299	0,015	94,98%
90	0,297	0,049	83,50%
60	0,299	0,068	77,26%
30	0,298	0,074	75,17%
15	0,298	0,103	65,44%
10	0,299	0,092	69,23%
5	0,297	0,045	84,85%
1	0,299	0,194	35,12%

Anexo 13-2 . Tabla de datos para la dosis mínima de sulfato de aluminio para el colorante rojo ácido # 88

DOSIS (mg)	ABSORBANCIA INICIAL	ABSORBANCIA FINAL	% REMOCIÓN DE COLOR
150	0,274	0,001	99,64%
100	0,275	0,001	99,64%
50	0,272	0,001	99,63%
10	0,273	0,002	99,27%
1	0,272	0,074	72,79%

**ANEXO 14. TOMA DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA COMPARACIÓN
CON SULFATO DE ALUMINIO**

Anexo 14-1. Tabla diseño de experimentos % de remoción en el colorante amarillo ácido # 36:

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			100
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,44	0,325	0,324	0,098	0,098	69,85%	69,62%
	0,322		0,095		70,50%	
	0,324		0,102		68,52%	
7,15	0,247	0,248	0,132	0,132	46,56%	46,57%
	0,248		0,133		46,37%	
	0,248		0,132		46,77%	
8,47	0,251	0,250	0,079	0,077	68,53%	69,07%
	0,25		0,077		69,20%	
	0,249		0,076		69,48%	

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			150
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,46	0,311	0,311	0,135	0,135	56,59%	56,70%
	0,311		0,135		56,59%	
	0,311		0,134		56,91%	
7,17	0,243	0,244	0,084	0,084	65,43%	65,44%
	0,244		0,085		65,16%	
	0,245		0,084		65,71%	
8,37	0,252	0,252	0,110	0,110	56,35%	56,22%
	0,252		0,110		56,35%	
	0,252		0,111		55,95%	

COLORANTE AZOICO AMARILLO ÁCIDO # 36			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			200
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
5,39	0,326	0,326	0,189	0,187	42,02%	42,48%
	0,326		0,187		42,64%	
	0,325		0,186		42,77%	
7,13	0,244	0,244	0,094	0,093	61,48%	61,94%
	0,244		0,092		62,30%	
	0,245		0,093		62,04%	
8,44	0,250	0,250	0,123	0,123	50,80%	50,60%
	0,249		0,124		50,20%	
	0,250		0,123		50,80%	

Anexo 14-2. Tabla diseño de experimentos % de remoción en el colorante amarillo rojo # 88:

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			3,5
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,92	0,307	0,306	0,003	0,007	99,02%	97,70%
	0,301		0,011		96,35%	
	0,310		0,007		97,74%	
5,23	0,319	0,319	0,019	0,018	94,04%	94,35%
	0,319		0,017		94,67%	
	0,318		0,018		94,34%	
6,55	0,354	0,355	0,089	0,090	74,86%	74,53%
	0,355		0,092		74,08%	
	0,355		0,090		74,65%	

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			5,0
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,92	0,303	0,302	0,000	0,000	100,00%	100,00%
	0,304		0,000		100,00%	
	0,300		0,000		100,00%	
5,19	0,347	0,350	0,045	0,045	87,03%	87,13%
	0,351		0,046		86,89%	
	0,351		0,044		87,46%	
6,51	0,346	0,345	0,111	0,113	67,92%	67,18%
	0,344		0,114		66,86%	
	0,346		0,115		66,76%	

COLORANTE AZOICO ROJO ÁCIDO # 88			DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/L)			10
pH	ABSORBANCIA INICIAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	ABSORBANCIA FINAL	PROMEDIO ABSORBANCIA	REMOCIÓN DE COLOR	PROMEDIO REMOCIÓN DE COLOR
3,93	0,338	0,339	0,002	0,002	99,41%	99,51%
	0,338		0,001		99,70%	
	0,340		0,002		99,41%	
5,21	0,357	0,356	0,018	0,018	94,96%	95,04%
	0,356		0,017		95,22%	
	0,356		0,018		94,94%	
6,52	0,370	0,368	0,124	0,125	66,49%	66,15%
	0,367		0,126		65,67%	
	0,368		0,124		66,30%	

**ANEXO 15. TOMA DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE
HUMEDAD DEL COAGULANTE NATURAL**

Anexo 15-1. Toma de datos para el coagulante natural extraído a partir de residuos de café

TIEMPO (s)	REPLICA # 1	REPLICA # 2	REPLICA # 3	PROMEDIO
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
236	5,15%	5,15%	5,15%	5,15%
466	13,50%	13,50%	13,50%	13,50%
696	21,45%	21,45%	21,45%	21,45%
926	28,65%	28,65%	28,65%	28,65%
1156	35,30%	35,30%	35,30%	35,30%
1386	41,60%	41,60%	41,60%	41,60%
1616	47,85%	47,85%	47,85%	47,85%
1846	53,70%	53,70%	53,70%	53,70%
2076	59,35%	59,35%	59,35%	59,35%
2306	64,80%	64,80%	64,80%	64,80%
2536	70,05%	70,05%	70,05%	70,05%
2766	74,90%	74,90%	74,90%	74,90%
2996	79,30%	79,30%	79,30%	79,30%
3226	83,05%	83,05%	83,05%	83,05%
3456	86,30%	86,30%	86,30%	86,30%
3686	89,15%	89,15%	89,15%	89,15%
3916	91,50%	91,50%	91,50%	91,50%
4146	93,40%	93,40%	93,40%	93,40%
4376	94,95%	94,95%	94,95%	94,95%
4606	96,05%	96,05%	96,05%	96,05%
4836	96,70%	96,70%	96,70%	96,70%
5066	96,95%	96,95%	96,95%	96,95%
5091	96,95%	96,95%	96,95%	96,95%