

**EXTRACCIÓN DE PIGMENTO ROJO DE ACHIOTE (*BIXA ORELLANA*) Y
OLEORRESINA ROJA DE PAPRIKA (*CAPSICUM ANNUM*) EN LA
FORMULACIÓN DE PINTURAS PARA JUGUETES DE MADERA**

LAURA KATERINE GUARIN LIZARAZO

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

**EXTRACCIÓN DE PIGMENTO ROJO DE ACHIOTE (*BIXA ORELLANA*) Y
OLEORRESINA ROJA DE PAPRIKA (*CAPSICUM ANNUM*) EN LA
FORMULACIÓN DE PINTURAS PARA JUGUETES DE MADERA**

LAURA KATERINE GUARIN LIZARAZO

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director:
ALEXANDER LÓPEZ CASTRO
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

Nota de aceptación

Firma del jurado
Ingeniero Iván Ramírez Marín

Firma del jurado
Ingeniero Juan Camilo Cely Garzón

Bogotá D.C Agosto del 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector Académico y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano general Facultad de Ingenierías.

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la confianza, la sabiduría y la fuerza que me ha ayudado a cumplir cada uno de mis objetivos y mis metas guiándome hasta el final de esta hermosa carrera, a mis padres sin los que jamás hubiese podido llegar hasta donde estoy, a mis hermanas por estar siempre ahí conmigo, desde la elección de esta carrera hasta el último parcial, a David por siempre hacerme sonreír, incluso en los momentos más difíciles y a esas personas que leyeron este documento sin tener ningún conocimiento del tema y aun así aportaron a la realización del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta acá, por brindarme la fuerza y el soporte que mi vida ha necesitado. A mis padres sin los que jamás hubiera llegado tan lejos porque su apoyo emocional y económico fue clave en todo este proceso, sus consejos, su tiempo, sus desveladas y madrugadas por mí. A mis hermanas, que siempre han estado apoyándome, cuidándome y haciendo que confíe cada día más en mí, gracias a David y a Giovanni, que han hecho que este trabajo sea mucho más ameno, siendo los causantes principales de mis risas en los momentos de estrés. A mis amigas de la Universidad que hicieron que cada semestre fuera más divertido y cada experiencia fuera única. A Alexander López, que siempre estuvo para brindarme su ayuda y sus consejos, así como guiarme en el desarrollo de este proyecto. A Tecnoparque, por brindarme la posibilidad de realizar mi experimentación en este lugar y así a Anita, quien siempre estuvo para darme los consejos necesarios en el momento oportuno.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO TEÓRICO	27
1.1 PINTURA	27
1.1.1 Tipos de pintura	28
1.1.2 Composición de una pintura	31
1.1.2.1 Pigmento	31
1.1.2.2 Vehículo	31
1.1.2.3 Aditivos	32
1.2 COLORANTES	32
1.3 PIGMENTOS	33
1.4 OLEORRESINAS	34
1.5 MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES	35
1.5.1 Extracción por solventes – Soxhlet	35
1.5.2 Extracción por prensado en frío	37
1.5.3 Extracción por centrifugación	38
1.5.4 Extracción con fluidos supercríticos-FSC	38
1.5.5 Extracción con enzimas	40
1.6 SOLVENTES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES	41
1.7 TIPOS DE MADERA (SOPORTE)	43
1.7.1 MDF	43
1.7.2 Triplex	44
1.7.3 Pino Pátula	44
1.7.4 Perillo	45
1.8 ARBUSTO DE ACHIOTE	46
1.9 DEFINICIÓN DE PIMENTÓN–PAPRIKA–PÁPRIKA	47
1.10 COLORANTE DE ACHIOTE	50
1.11 OLEORRESINA DE PAPRIKA	52
1.12 TRATAMIENTOS TÉRMICOS	54
1.13 FREÍDO	55
1.14 MARCO LEGAL	55
1.15 SOFTWARE ESTADÍSTICO	57
2. DISEÑO METODOLÓGICO	60
2.1 EXTRACCIÓN DE PIGMENTO Y OLEORRESINA	60
2.1.1 Extracción colorante a partir de achiote	60
2.1.1.1 Extracción con álcalis acuosos	61
2.1.1.2 Extracción con aceites vegetales	62
2.1.1.3 Extracción con Agua	62
2.1.2 Determinación de concentraciones de Bixina y Norbixina en los pigmentos extraídos de achiote	63
2.1.3 Determinación de rendimiento de los pigmentos extraídos de achiote	64
2.1.4 Extracción colorante a partir de paprika	65

2.1.4.1 Extracción de oleorresina de paprika con acetona	66
2.1.4.2 Determinación de concentraciones de Capsorrubina y Capsantina en la oleorresina de paprika	68
2.1.4.3 Determinación de rendimiento de la oleorresina extraída de paprika	69
2.1.4.4 Determinación de grados ASTA de la oleorresina extraída de paprika	70
3. SELECCIÓN DE PIGMENTOS	72
3.1 SELECCIÓN DE PIGMENTO	72
3.1.1 Selección de la extracción del pigmento de achiote.	72
3.1.2 Selección de la extracción de la oleorresina de paprika	77
3.1.3 Propiedad de mojabilidad o toma de aceite de los colorantes extraídos	81
4. COMPARACIÓN DE TRES FORMULACIONES DE PINTURA FRENTE A UNA COMERCIAL	83
4.1 FORMULACIONES DE PINTURA VINÍLICA	83
4.2 FORMULACIÓN	83
4.3 ELABORACIÓN	86
4.3.1 Formulación 1	87
4.3.2 Formulación 2	88
4.3.3 Formulación 3	88
4.4 PRUEBAS FÍSICAS	89
4.4.1 Densidad.	90
4.4.2 Viscosidad	93
4.4.3 Acidez	93
4.4.4 Grado de adherencia	94
4.4.5 Color	94
4.4.6 Inflamabilidad	95
4.4.7 Tiempo de secado libre al tacto	95
4.4.8 Secado total	95
4.4.9 Rendimiento (a 2 manos)	95
4.5 NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS FÍSICAS	95
4.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS FÍSICAS	96
4.7 PRUEBA QUÍMICA	99
5. DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE PINTURA	100
5.1 DIAGRAMAS DE PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTO DE ACHIOTE CON AGUA Y SU APLICACIÓN EN PINTURAS	100
5.1.1 Diagrama de flujo de entradas y salidas	100
5.1.2 Diagrama de flujo de bloques (BFD)	101
5.1.2.1 Mezclador	103
5.1.2.2 Reactor	104
5.1.2.3 Separador - Filtrador	106
5.1.2.4 Separador	107
5.1.3 Diagrama de flujo de proceso	108

5.2 ESPECIFICACIONES DE TUBERÍAS Y EQUIPOS	110
5.2.1 Especificaciones de tubería	110
5.2.2 Especificación del tanque con calentamiento y agitación TK-101	111
5.2.3 Filtrador	119
5.2.4 Secador por aspersión	121
5.2.5 Tanque mezclador	123
5.2.6 Bombas	126
6. EVALUACIÓN FINANCIERA	131
6.1 COSTOS EQUIPOS	131
6.1.1 Tanque de calentamiento con agitación	131
6.1.2 Filtrador	133
6.1.3 Secador por aspersión	133
6.1.4 Mezclador	134
6.1.5 Bombas	135
6.1.6 Consumos energéticos	136
6.2 COSTOS DE MAQUINARIA	136
6.3 COSTOS FIJOS	137
6.4 COSTOS VARIABLES	139
6.5 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE 1 LOTE	140
6.6 TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)	141
7. CONCLUSIONES	144
8. RECOMENDACIONES	146
BIBLIOGRAFÍA	147
ANEXOS	155

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tipos de pinturas según su composición.	29
Cuadro 2. Análisis comparativo de los principales métodos de extracción de aceites esenciales.	40
Cuadro 3. Composición de las semillas de Achiote (<i>Bixa Orellana</i>).	52
Cuadro 4. Composición del pigmento de Achiote (<i>Bixa Orellana</i>).	52
Cuadro 5. Metodologías para la determinación de migración de metales.	56
Cuadro 6. Mojabilidad de los pigmentos extraídos.	82
Cuadro 7. Fotos de soportes pintados.	89
Cuadro 8. Compuestos de las corrientes del diagrama de bloques (BFD).	102
Cuadro 9. Flujo de caja.	142

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Producción y área cosechada de achiote al 2016	47
Gráfica 2. Producción y área cosechada de Pimentón	49
Gráfica 3. Curva patrón Norbixina	64
Gráfica 4. Curva patrón Capsorrubina y Capsantina	69
Gráfica 5. Rendimiento y concentración diferentes métodos extracción achiote.	74
Gráfica 6. Rendimiento y concentración diferentes tamices para extracción de achiote con agua	76
Gráfica 7. Rendimiento y concentración de paprika con diferentes tratamientos térmicos	79
Gráfica 8. Curva de secado del pimentón.	80
Gráfica 9. Densidad normalizada del agua.	92
Gráfica 10. Cálculo de N_p para agitador.	115
Gráfica 11. Precio del equipo frente a su volumen	132

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Pinturas comerciales de diferentes colores	27
Imagen 2. Tipos de pinturas	28
Imagen 3. Colorantes	33
Imagen 4. Pigmentos	34
Imagen 5. Oleorresina y pigmento de paprika.	35
Imagen 6. Extracción con Soxhlet en el momento en que se produce el sifonamiento del solvente.	36
Imagen 7. Prensado en frío del aceite de oliva.	38
Imagen 8. Fórmula química de la Acetona	42
Imagen 9. Peligrosidad Acetona	42
Imagen 10. Juguetes en MDF.	43
Imagen 11. Juguetes en Triplex.	44
Imagen 12. Juguetes en Pino.	45
Imagen 13. Juguetes de perillo.	45
Imagen 14. Fruto de Achiote.	46
Imagen 15. Pimentón rojo.	48
Imagen 16. Estructura de la Bixina.	51
Imagen 17. Estructura de la Norbixina.	51
Imagen 18. Estructura de los principales carotenoides presentes en la paprika.	54
Imagen 19. Salida del software estadístico XLSTAT.	58
Imagen 20. Diagrama de flujo del proceso extracción pigmento de achiote con álcalis acuosos.	61
Imagen 21. Diferencia de color con distinto método de molienda.	63
Imagen 24. Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas, color ASTA y carotenoides totales en pimentón rojo procesado ¹ .	66
Imagen 25. Diagrama de flujo para la extracción de la oleorresina	67
Imagen 24. Partículas suspendidas en muestra de achiote con malla 60.	77
Imagen 25. Adición del pigmento en la formulación 1.	87
Imagen 26. Adición de pigmento en formulación 2.	88
Imagen 27. Adición del pigmento en formulación 3.	89
Imagen 28. pH que favorece la dispersión en pinturas acuosas.	94
Imagen 29. Materiales para realizar la comparación física.	94
Imagen 30. Color formulación 3 en muestras comerciales.	99
Imagen 31. Diagrama de entradas y salidas.	101
Imagen 32. Diagrama de bloques preparación de pintura.	102
Imagen 33. Balance de masa del Mezclador	104
Imagen 34. Balance de masa del reactor.	105
Imagen 35. Balance de masa del separador- Filtrador.	106
Imagen 36. Balance de masa en el separador- Secador	107
Imagen 37. Diagrama de flujo de proceso (PFD) producción de pintura vinílica.	109
Imagen 38. Prensa filtradora de placas y marcos.	120

Imagen 39. Secador por aspersión.	122
Imagen 40. Tanque de mezclado de pintura vinílica	124
Imagen 41. Operación bomba P-101	127
Imagen 45. Operación bomba P-102	129
Imagen 43. Factor F_M para costo del mezclador	134

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades críticas de fluidos de interés en procesos supercríticos	39
Tabla 2. Niveles máximos de migración de metales permitidos	55
Tabla 3. Concentraciones para el colorante de achiote.	72
Tabla 4. Rendimiento con diferentes métodos extracción achiote.	73
Tabla 5. Concentraciones para el colorante de achiote con diferentes tamices.	75
Tabla 6. Rendimiento de diferentes tamices extracción achiote.	75
Tabla 7. Concentraciones para el colorante de paprika.	78
Tabla 8. Rendimiento diferentes métodos extracción paprika.	78
Tabla 9. Grados ASTA diferentes métodos extracción paprika.	81
Tabla 10. Componentes de las tres diferentes formulaciones	84
Tabla 11. Densidades absolutas del agua [g/cm ³]	91
Tabla 12. Resultados de comparación física entre formulaciones y pintura comercial*.	97
Tabla 13. Balance de masa en el mezclador.	103
Tabla 14. Compuestos en las corrientes del diagrama de bloques.	107
Tabla 15. Características de la tubería según norma ASTM-A270, 3 ^a	110
Tabla 16. Características de la tubería según norma ASTM A106. Acero cédula 40	111
Tabla 17. Especificaciones del tanque de calentamiento con agitación.	119
Tabla 18. Especificaciones de Filtrador.	121
Tabla 19. Especificaciones de secador por aspersión.	122
Tabla 20. Valores de las constantes K_T y K_L para tanques que tienen cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya anchura es igual al 10% del diámetro del tanque.	125
Tabla 21. Especificaciones del tanque de mezclado (dispersión).	126
Tabla 22. Coeficientes para la determinación del costo en motores de agitación.	135
Tabla 23. Resumen de consumo energético de los diferentes equipos.	136
Tabla 24. Costo maquinaria.	137
Tabla 25. Costo de contratación mensual secretario.	137
Tabla 26. Costo de contratación mensual operario.	138
Tabla 27. Costo de contratación mensual ingeniero	138
Tabla 28. Costos de mano de obra.	138
Tabla 29. Costo de uso de instalaciones	139
Tabla 30. Resumen costos fijos por año.	139
Tabla 31. Costos de materia prima para un lote de 150 kg.	139
Tabla 32. Costos de los insumos para producir 150 kg de pintura.	140
Tabla 33. Resumen de costos variables para la producción de 150 kg de pintura.	140
Tabla 34. Costos de producción de 1 lote.	140
Tabla 35. Precio de venta de cada lote.	141
Tabla 36. Utilidades del proyecto en cada año.	141

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación de la concentración de Bixina y Norbixina en los pigmentos	64
Ecuación 2. Cálculo del rendimiento del pigmento.	65
Ecuación 3. Determinación de concentración de Capsorrubina y Capsantina en los pigmentos extraídos.	69
Ecuación 4. Cálculo de rendimiento oleorresina.	70
Ecuación 5. Determinación de grados ASTA.	70
Ecuación 6. Simplificación fórmula determinación de grados ASTA	71
Ecuación 7. Velocidad periférica.	86
Ecuación 8. Cálculo densidad de pintura.	91
Ecuación 9. Balance de masa global.	101
Ecuación 10. Balance de masa del mezclador.	104
Ecuación 11. Cálculo del rendimiento para el achiote	105
Ecuación 12. Cálculo de número de potencia.	113
Ecuación 13. Cálculo del número de Reynolds para el tanque con agitación y calentamiento.	113
Ecuación 14. Viscosidad dinámica de un fluido.	114
Ecuación 15. Cálculo de potencia de un tanque con agitación.	115
Ecuación 16. Cálculo de calor.	116
Ecuación 17. Volumen de un cilindro.	117
Ecuación 18. Presión hidrostática.	117
Ecuación 19. Espesor de la pared de la chaqueta de calentamiento.	118
Ecuación 20. potencia de un motor de agitación.	125
Ecuación 21. Cálculo del filtrador.	133
Ecuación 22. Costo del secador por aspersión.	133
Ecuación 23. Costo del mezclador	134

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica del programa XLSTAT	155
Anexo B. Datos de la extracción del pigmento de Achiote con diferentes solventes.	156
Anexo C. Datos del ANOVA realizado para el Achiote con diferentes solventes	157
Anexo D. Datos de la extracción del pigmento de Achiote con agua y diferentes mallas	158
Anexo E. Datos del ANOVA realizado para el Achiote con agua y diferentes mallas.	159
Anexo F. Datos de la extracción de la oleorresina de paprika con diferentes tratamientos térmicos	160
Anexo G. Datos del ANOVA realizado para la extracción de la oleorresina de paprika con diferentes tratamientos térmicos	161
Anexo H. Datos curva de secado del Pimentón.	162
Anexo I. Métodos de realización de pruebas físicas	163
Anexo J. Método de realización para la prueba química.	164
Anexo K. Velocidad de evaporación del agua.	167
Anexo L. Pérdida de agua en el proceso de filtrado.	168
Anexo M. Propiedades del acero inoxidable	169
Anexo N. Valor presente del tanque con agitación y calentamiento.	170
Anexo O. Valor presente del filtrador	171
Anexo P. Valor presente del secador por aspersion.	172
Anexo Q. Valor presente del tanque de mezcla.	173
Anexo R. Resultados prueba de migración de metales en juguetes de madera	174

LISTA DE SIGLAS

\$ = Dólares

\$k=1000 dólares

δ_{agua} : densidad del agua a la temperatura de ensayo: 22,5 °C

μ es la viscosidad dinámica en cP

$A_{(460)}$ = Absorbancia del extracto a 460 nm

A_{avg} = Promedio de absorbancias estándar, cada una normalizada a $1 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}$

A_s = Absorbancia de la muestra

COP= Pesos colombianos

d = Diámetro del disco en metros.

D_a Diámetro del agitador (m)

E: eficiencia de la junta

f= factor de fricción

Hr: Hora

I_f = Índice de corrección intrumental

M_0 : masa de picnómetro

M_1 : masa del picnómetro + agua destilada

M_2 : masa del picnómetro + Pintura

N_{PO} =número de potencia.

n = Revoluciones de la flecha en *rpm*

N son las revoluciones por segundo del agitador.

nm: nanómetros

P: presión de diseño, lb/pulg²

P: potencia en W

p/p: relación peso a peso

R: radio interior (pulg)

Re = Reynolds

rpm: revoluciones por minuto

rps: revoluciones por segundo

S: valor del esfuerzo del material, (lb/pulg²)

t: espesor de la pared (pulg)

V = volumen de disolución, mL

V= Velocidad periférica (*m/s*)

W_s = Peso de la muestra, g

GLOSARIO

ACHIOTE¹: árbol de pequeño tamaño con hojas alternas y largos pecíolos, y con flores rojizas que dan un fruto oval y carnoso, cuya pulpa es comestible y se usa como sustituto del azafrán para condimentar y dar color a algunas comidas; crece en América Central y México y en las zonas cálidas andinas que limitan con la Amazonia; con la semilla se hace un tinte de color rojo vivo.

AGLUTINANTE²: material que se emplea en pintura para adherir los distintos elementos colorantes.

AUSTENÍTICO³: como su nombre indica, tienen configuración metalográfica austenítica. Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0,03 a 0,08%.

DISOLUCIÓN⁴: es una mezcla del colorante con el vehículo en la cual estos componentes son solubles entre sí notándose la fase homogénea

EMULSIÓN⁵: en la emulsión estos compuestos (vehículo y colorante) son insolubles entre sí, apreciándose una fase heterogénea

ESTABILIDAD DEL COLOR⁶: propiedad de un material para conservar su color durante un período de tiempo y en un ambiente especificado.

IMPRIMACIONES⁷: es el proceso mediante el cual una superficie es preparada para ser pintada, cuando la superficie está lista se llama soporte y pueden ser paredes, madera, papel, etc.

¹ DICCIONARIO. [sitio web]. Achiote. Definición de Achiote. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD_esCO831CO831&q=Diccionario#dobs=achiote

² DICCIONARIO. [sitio web]. Aglutinante. Definición de aglutinante. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?q=aglutinante&rlz=1C1CHBF_esCO812CO812&oq=aglutinante&aqs=chrome..69i57j35i39j0l4.2050j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

³ ELECTRICFOR. [Sitio web]. Definiciones de términos comúnmente utilizados en calefacción y control de temperatura. Acero inoxidable Austenítico. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <https://www.electricfor.es/es/17644/diccionario/Acero-inoxidable-austenitico.htm>

⁴ SANZ, Ascensión. Química orgánica industrial. La industria de los colorantes y pigmentos. 2011. [sitio web]. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>

⁵ SANZ, Ascensión. Op. Cit.

⁶ DICCIONARIO. [sitio web]. Estabilidad del color. Definición de estabilidad del color. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: http://www.wikilengua.org/index.php/Terminesp:estabilidad_del_color

⁷ DE GRANERO. [Sitio web]. 11 imprimaciones para pintar que debes conocer. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <http://degranero.es/imprimaciones-para-pintar/>

MOJABILIDAD⁸: capacidad de un pigmento de extenderse y dejar una traza homogénea sobre un sólido.

PAPRIKA⁹: la voz húngara *paprika* ('pimiento rojo que, reducido a polvo, se usa como condimento') se emplea en español con dos acentuaciones, ambas válidas. Aunque su equivalente en español es *pimentón*, es lícito emplear este extranjerismo para designar el condimento originario de Hungría.

PINTURA AL AGUA¹⁰: el diluyente es el elemento que da nombre a la pintura al agua, también conocida como pintura acrílica o pintura plástica. Se llama así porque se diluye con agua. Por el contrario, la pintura sintética es la que se diluye con disolvente.

PINTURA TIPO A¹¹: las pinturas son clasificadas en pintura tipo A, B y C (o I, II y III), donde la pintura tipo A presenta el mayor poder cubriente y es para superficies de alta duración (paredes, puertas, etc.).

REOLÓGÍA¹²: parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame de la materia.

⁸ ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Pinturas. En: Escuela universitaria de arquitectura técnica. Coruña: EUAT. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/pintura/pinturas.pdf>

⁹ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DICCIONARIO PANHISPÁNICO DE DUDAS. [sitio web]. Colombia. En Real Academia de la lengua española, RAE. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: lema.rae.es/dpd/srv/search?id=piMyVydyqBD6anWPOhZ

¹⁰ INGENIERÍA QUÍMICA.ORG. [sitio web]. Diferencias entre químicos para pinturas a base de agua. 2014. párr. 4. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.org/foros/diferencias-entre-quimicos-para-pintura-?page=1>

¹¹ PINTURAS SUPER. [Sitio web]. Qué es la pintura tipo 1. párr. 3. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <https://www.pinturassuper.com/pintura-tipo-1/>

¹² DICCIONARIO. [sitio web]. Reología. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?q=reolog%C3%ADa&rlz=1C1CHBD_esCO831CO831&oq=reolog%C3%ADa&aqs=chrome.69i57j0l5.1622j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8

RESUMEN

El objetivo del proyecto fue el uso de colorantes naturales extraídos del achiote (*Bixa Orellana*) y el pimentón (*Capsicum Anuum*), como pigmentos en la industria de pinturas para juguetes de madera. Para cumplir este objetivo primero se escogieron los métodos de extracción de cada uno de los colorantes con base en parámetros establecidos en la literatura recolectada, tomando como criterio de aceptación la extracción que brindara mayor coloración y rendimiento, esto gracias a el análisis estadístico de comparación por pares (REGWQ) y el software estadístico XLSTAT, después se evaluó la característica principal que debe tener un pigmento para ser adicionado a las pinturas (mojabilidad), seleccionando así el pigmento de achiote ya que era el que poseía tal característica.

Después se propusieron 3 formulaciones de pinturas, todas ellas de una fuente distinta; una de la Universidad Abierta y a Distancia (UNAD), otra del foro de fabricación de pinturas vinílicas de Ingenieros Químicos y por último de la empresa COATING INVENTIONS; de entre todas las formulaciones posibles se escogieron las 3 en las que era viable la utilización de un pigmento natural, además eran útiles para madera, así como no contenían elementos que pudiesen afectar la salud de los infantes, también que contaran con la característica de ser vinílicas y tipo A; a estas formulaciones se les adicionó el pigmento de achiote y se les evaluaron características físicas como densidad, pH, viscosidad, inflamabilidad y grado de adherencia entre otras, para así compararlas con una muestra comercial de pintura vinílica tipo A. A la formulación que presentó características similares a la muestra comercial (formulación 3) se le evaluó el color, esto se hizo mediante la búsqueda de juguetes de madera que tuvieran ese color para determinar si podría o no ser utilizado en este tipo de industria. Una vez se demuestra que el color sí está presente en los juguetes de madera (especialmente en las partes del cuerpo humano debido a que es conocido popularmente como color “piel”), se realizan las pruebas químicas a esta formulación para la determinación del cumplimiento de la Resolución 3388 de 2008 en la cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los juguetes, sus componentes y accesorios que se comercialicen en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones.

Posteriormente, se diseñó una planta a escala piloto con una producción de 150 kg de pintura por lote (teniendo la posibilidad de realizar 15 lotes mensuales), con esto se encontraron los indicadores económicos de tasas interna de retorno (TIR) y valor presente neto (VPN), así también se calculó el flujo neto de caja para así constatar si es viable o no la aplicación en la industria de este proyecto.

Palabras clave: extracción, industria de juguetes de madera, solventes, extracción en agua, extracción soxhlet, paprika, achiote, pintura, escala piloto, especificaciones técnicas, viabilidad financiera.

ABSTRACT

The objective of the project was the use of natural dyes extracted from achiote (*Bixa Orellana*) and paprika (*Capsicum Anuum*), as pigments in the wooden toy paints industry. To meet this objective, the methods of extraction of each of the dyes were first chosen based on the parameters established in the collected literature, taking as an acceptance criterion the extraction that would provide greater coloration and yield, thanks to the statistical comparison analysis in pairs (REGWQ) and the statistical software XLSTAT, then the main characteristic that a pigment must have to be added to the paints (wettability) was evaluated, thus selecting the achiote pigment since it was the one that possessed such characteristic.

Then 3 formulations of paintings were proposed, all of them from a different source; one from the Open and Distance University (UNAD), another from the Chemical Engineers' vinyl paint manufacturing forum and finally from the company COATING INVENTIONS; from among all the possible formulations, the 3 were chosen in which the use of a natural pigment was viable, they were also useful for wood, as well as they did not contain elements that could affect the health of the infants, also that had the characteristic of being vinyl and type A; to these formulations the achiote pigment was added and physical characteristics were evaluated such as density, pH, viscosity, flammability and degree of adhesion among others, in order to compare them with a commercial sample of type A vinyl paint. To the formulation that presented characteristics similar to the commercial sample (formulation 3) the color was evaluated, this was done by searching for wooden toys that had that color to determine whether or not it could be used in this type of industry. Once it is shown that color is present in wooden toys (especially in parts of the human body because it is popularly known as "skin" color), chemical tests are performed on this formulation to determine compliance with Resolution 3388 of 2008 in which the technical regulations on the sanitary requirements of toys, their components and accessories that are sold in the national territory and other provisions are issued are issued.

Subsequently, a pilot scale plant was designed with a production of 150 kg of paint per batch (having the possibility of carrying out 15 batches per month), with this the economic indicators of internal rates of return (IRR) and net present value (VPN), the net cash flow was also calculated in order to verify whether the application in the industry of this project is viable or not.

Keywords: extraction, wooden toy industry, solvents, water extraction, Soxhlet extraction, paprika, achiote, paint, pilot scale, technical specifications, financial viability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas de juguetes en Colombia han ido incrementando sus portafolios con productos que cautiven más a la población infantil y a sus padres asegurándoles seguridad, calidad y sostenibilidad; es por esto, que en compañías como juguetes Kiko o Didácticos Pinocho, se realizan juguetes tradicionales fabricados con madera reforestada y son pintados con productos no tóxicos ni inflamables, las coberturas que se utilizan son mezclas de pintura con tintas líquidas importadas de empresas como Clariant (Brasil) generando un costo adicional al producto por importación, entre estos tintes el más económico es el blanco y el más costoso el magenta¹³.

El reto para estas compañías no es menor, ya que variables como el sedentarismo y la adicción tecnológica (que ha ido en aumento los últimos años en la población infantil¹⁴), crea una alta competencia entre los juguetes y los juegos virtuales, por tanto, los juguetes deben ser cada vez más llamativos, menos contaminantes, más económicos y especialmente más seguros. En este sentido, las pinturas no tóxicas se vuelven obligatorias y determinantes en el momento de comprar, puesto que, en Colombia, sólo se pueden certificar aquellos juguetes que cumplen con la resolución 3388 de 2008 del Ministerio de la Protección Social¹⁵, en el que se determinan los límites máximos de migración de metales del juguete a los infantes.

En cuanto a la historia de los pigmentos, se han evidenciado vestigios en cavernas con hasta 400000 años de antigüedad y su uso se volvió más popular, todas las telas y materiales eran teñidos con pigmentos naturales, sin embargo, debido a un “accidente de laboratorio” en el año 1704 d.C. se creó el primer pigmento sintético (mediante síntesis química). Pero fue William Perkin quien en 1856 utilizó el tinte de anilina a nivel industrial sentando las bases para cientos de tintes y pigmentos mucho más brillantes y duraderos; de esta forma, la industria de los pigmentos sintéticos acabó casi por completo a la de pigmentos naturales.

Para los pigmentos sintéticos, la materia prima era el plomo¹⁶ lo que los hacía altamente tóxicos e incluso se encontró que llegaban a tener repercusiones negativas en la salud al ser cancerígenos.

¹³DIDÁCTICOS PINOCHO S.A. [sitio web]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. Bogotá: DIDÁCTICOS PINOCHO S.A Disponible en <http://www.didacticospinocho.com/opinocho>.

¹⁴VEIGA, Yolanda. [sitio web]. España: EL CORREO, El balón o la Tablet, ¿qué prefieren los niños? párr 3. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.elcorreo.com/sociedad/balon-tablet-juguetes-20170928123307-nt.html>

¹⁵COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Resolución número 3388 de 2008 (08, septiembre, 2008). Por la cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los juguetes, sus componentes y accesorios que se comercialicen en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: Diario oficial. Septiembre, 2008. Nro. 47108. p. Disponible en: [http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)

¹⁶IBRAHIM, Elmadfa; MUSKAT, Erich y FRITZSCHE, Doris. Tabla de aditivos. Los números E [en línea]. Editorial Hispano Europea, 2011. [Citado el 20 de septiembre de 2018]. Disponible en:

Esto generó un gran avance en las normas y leyes de los países para prohibir el uso de pigmentos artificiales en alimentos y cosméticos, dado que los colorantes naturales según la FDA (*Food and Drugs Administration*) no poseen efectos dañinos sobre la salud humana¹⁷; con tal permuta, se hace cada vez más popular en todas las industrias, el cambio de pigmentos químicos a pigmentos naturales.

En Colombia específicamente, se han desarrollado colorantes naturales para industrias de alimentos y cosméticos en colores específicos como el rojo, proveniente del Achiote (*Bixa orellana*)¹⁸, o de la paprika (*Capsicum Annum*)¹⁹, incluso del ají (*Capsicum frutescens*)²⁰; pero, aún no se han desarrollado industrias nacionales que produzcan pinturas orgánicas especiales para juguetes de madera, puesto que el número de empresas nacionales que producen juguetes hasta el 2017 eran tan solo 28 según el DANE ²¹, de los cuales solo el 3.39 % de estas empresas, pertenecen al sector de juguetes de madera; no obstante, el número de empresas independientes que trabajan como artesanos no industriales es significativo, ya que según los datos reportados por la revista de la OMPI, son cerca de doscientos cincuenta mil colombianos, pero al no estar registradas ante el DANE no se cuentan con datos sólidos de su cantidad ni de su producción, siendo uno de los motivos de no haber sido el foco de las industrias de pigmentos.

Las materias primas acá sugeridas, se toman por el crecimiento productivo en Colombia, por su alto poder colorante reportado en la literatura, por su amplio uso en la producción de pigmentos con características comerciales en la industria de alimentos y cosméticos, así como por su capacidad de mezclarse con pinturas de agua, por lo que investigar un uso alternativo en pinturas en juguetes se ve como una alternativa.

Para el desarrollo del presente proyecto se desarrollaron cuatro (4) objetivos específicos divididos en seis (6) capítulos, en el primero de ellos nombrado *marco*

https://books.google.com.co/books?id=6aYI_pvi1CUC&printsec=frontcover&dq=Tabla+de+aditivos.+Los+n%C3%BAmeros+E&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEWjylbT19c3iAhXEpFkKHcbxBTgQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Tabla%20de%20aditivo s.%20Los%20n%C3%BAmeros%20E&f=false p. 10. ISBN: 9788425519680.

¹⁷ DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

¹⁸Ibid., p. 8-22.

¹⁹ GIL, Maritza, *et al.* Obtención de la oleoresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto. En: UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Perspectivas y avances de investigación. [en línea]. Medellín: Artes y letras, Universidad de La Salle, 2010. p.5. [fecha de consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/64>

²⁰ SOLARTE, Carmen; MARTın, Jaime y OROZCO, Mara. Extracción y evaluación de calidad del pigmento del fruto de ají (*Capsicum Frutescens*), como colorante natural en la industria alimenticia. Universidad del Cauca, Popayán- Colombia. 2011. Disponible en:

<http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia/siquia2005pap8.pdf>

²¹ DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Desagregación de variables 2017. En: DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Bogotá: DANE. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo Excel. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-industrial-ipi>

teórico, en el cual, se ahonda en cada uno de los términos y procedimientos necesarios para el desarrollo del proyecto; en el segundo, llamado *diseño metodológico*, se reportan los procedimientos empleados para la extracción de cada uno de los pigmentos; en el tercer capítulo denominado *selección de pigmentos*, se evalúa el método que brinda mayores rendimientos y concentraciones para la extracción del pigmento de achiote y la oleorresina de paprika, así como su posible utilización en pinturas vinílicas, Para el cuarto capítulo, *comparación de tres formulaciones de pintura frente a una comercial*, se elaboraron tres pinturas diferentes con el achiote como pigmento y se evaluaron algunas propiedades físicas y químicas; en el quinto capítulo, designado *diseño conceptual de la planta para la producción de pintura*, se elaboraron los diagramas de procesos necesarios para el diseño de una planta que produjera 50 kg de pintura por lote y se finalizó con el sexto capítulo, *evaluación financiera*, en la que se calculó el costo de cada uno de los equipos y su funcionamiento para la puesta en marcha del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Extraer pigmento rojo de achiote (*Bixa Orellana*) y oleorresina roja de paprika (*Capsicum Annum*), para la formulación de pinturas en juguetes de madera.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer oleorresina de paprika y el pigmento de achiote a escala laboratorio.
- Comparar tres formulaciones de pintura frente a un producto comercial.
- Establecer las especificaciones técnicas del proceso a escala piloto.
- Realizar el análisis financiero de la alternativa.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se introducen los conceptos básicos que se manejan en el proyecto como materias primas, extracciones, pinturas, su clasificación, composición y elaboración. También se menciona el tipo de maderas empleadas comúnmente en la industria de juguetes y sus características, además, se explica detalladamente el tipo de software estadístico empleado en este proyecto.

1.1 PINTURA

“Una pintura es un producto en forma fluida o fluidificada que se transforma en película sólida para recubrir un soporte, con el fin, de protegerlo y/o decorarlo”²². Las pinturas tienen como base cromófora tintes o pigmentos; estos son diferentes dependiendo de su origen. En la imagen 1 se pueden ver pinturas con diferentes tintes generando una amplia gama de colores. Usualmente se considera que las tinturas son de origen químico, son mucho más brillantes, con mejor adherencia y más durables, pero, prohibidas en industrias alimenticias, farmacéuticas, cosméticas y de juguetes, por entidades internacionales como la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y nacionales como el Ministerio de la Protección Social, debido a los efectos secundarios que pueden generar como cáncer, irritaciones, etc²³.

Imagen 1. Pinturas comerciales de diferentes colores



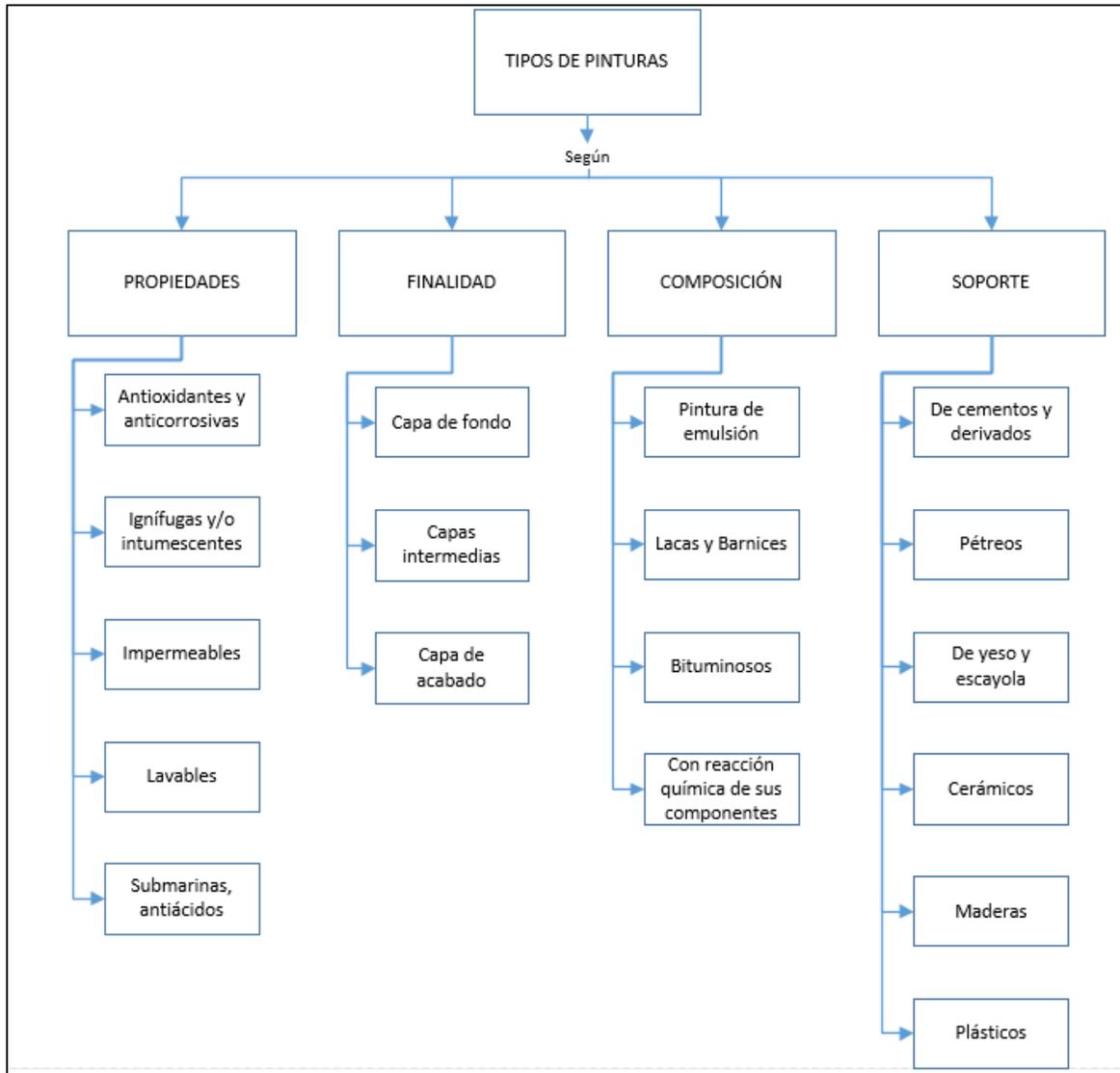
Fuente: GUÍA DE POLÍGONOS DE CASTILLA Y LEÓN. [sitio web]. México. GPCL, las 3 mejores empresas de pintura de León. 2013. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.guiapoligonos.com/las-3-mejores-empresas-de-pintura-de-leon/>

²² ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Pinturas. En: Escuela universitaria de arquitectura técnica. Coruña: EUAT. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/pintura/pinturas.pdf>

²³ MURIEGA RAQUEL. ¿Qué tan dañinos son los colorantes artificiales de tu comida?. En: Revista Vix. España. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.vix.com/es/imj/salud/148138/que-tan-daninos-son-los-colorantes-artificiales-de-tu-comida>

1.1.1 Tipos de pintura²⁴. Las pinturas han sido clasificadas a lo largo del tiempo en diferentes categorías teniendo en cuenta la extensa gama de pinturas existentes. Por lo cual, se resalta la importancia de conocer su composición antes de realizar cada una de las pinturas, y así mismo desarrollar la característica principal que se busca, además es importante saber el tipo de pintura para definir los procesos a realizar, la división general de los tipos de pintura se muestra a continuación.

Imagen 2. Tipos de pinturas



Fuente: elaboración propia

²⁴ ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Op. Cit. p 14-33

La clasificación más conocida a nivel comercial se da según su finalidad, en ella se encuentran: las capas de fondo, donde se encuentran las imprimaciones (base para protecciones metálicas), las selladoras (disminuyen la absorción del soporte), las tapaporos (que son recubrimientos pigmentados de relleno) y las masillas y plastes (pastas para rellenar daños); las capas intermedias, que deben dar mayor espesor a la pintura y la capa de acabado, que está conformada por barnices (transparente y translúcido), pinturas, esmaltes (más liso que la pintura), lacas (su base es la nitrocelulosa para aumentar brillo) y los revestimientos.

Otra de las clasificaciones que se da a nivel comercial y que es donde se cataloga la pintura a formular en el presente proyecto, es según su composición, conformada por pinturas de lacas y barnices, emulsión y bituminosos, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tipos de pinturas según su composición.

Pintura	Base	Tipo	Usos	Propiedades
Pintura de Emulsión.	Al agua.	Al temple. Ligantes: pegamentos.	Superficies de interiores a base yeso.	Porosa y permeable. No es resistente al agua. Poca dureza. Bajo costo. Propensa a la formación de hongos.
		A la cal: tanto su aglutinante como su pigmento es la cal.	Cemento, cal y ladrillos porosos.	Acabado mate. Porosa y absorbente. Endurece con el tiempo. Tiene propiedades antimicrobianas. No es flexible.
		Al cemento: cemento blanco y pigmentos resistentes a la alcalinidad.	Para exteriores de cemento o ladrillo poroso.	Se seca por fraguado. Capa mate absorbente.
		Al silicato.	Restauración de fachadas estucadas.	Permeables al vapor Se dilatan junto con el soporte.

Cuadro 1. (Continuación)
Tipos de pinturas según su composición.

				Impide el desarrollo de microorganismos.
		Acrílicas o vinílicas: los pigmentos están en una emulsión de polímero acrílico.	Especialmente para decoración, pero sirven para muros y techos.	Secado rápido. Solubles en agua. Resistentes al agua Cambio de tono al secar. Fácil aplicación Limpieza sencilla. Olor suave. No inflamables.
	Al aceite: su ligante es un aceite secante.	Alquídicas y Esmaltes.	Imprimación anticorrosiva de metales.	Alta flexibilidad y poder de penetración. Secado lento. Pierden brillo y color en exterior.
Lacas y barnices	-----	-----	Madera.	Secado lento. Diferentes terminaciones: mate, brillantes, etc.
Bituminosos	-----	-----	Protección al hierro contra oxidación Común en tuberías de agua y gas.	Terminación brillante Resistencia al agua Buena conservación a la luz y enterradas.
Con reacción química de sus componentes	Poliméricas	Clorocaucho: formuladas de un derivado clorado del caucho, pigmentos, cargas, disolventes, aromáticos, agentes	Depósitos en cemento para líquidos alcalinos, o ligeramente ácidos, suelos de cemento, etc.	Secado rápido. Resistentes al agua, incluso por inmersión. Resistentes a ácidos y álcalis. Resistente a microorganismos Sensibles al calor (degradación entre 60 -70 °C)

Cuadro 1. (Continuación)
Tipos de pinturas según su composición.

		plastificantes y aditivos.		
		Epoxi: pinturas con una resina y un endurecedor de amidas o poliamidas.	Soportes que precisen resistencia a ataques Hospitales. Suelos industriales. Instalaciones industriales. Superficies en contacto con alimentos.	Impermeables al agua. Resistente a los ácidos. Buena adherencia sobre cemento. Dureza y resistencia a la alcalinidad. Resistencia a la intemperie. Temperatura de curado superior a 10°C.
		Poliuretanos.	Protección de superficies expuestas a la intemperie.	Acabado brillante. Alta durabilidad. Resistente a la abrasión. Resistente a la humedad. Resistente a la decoloración.

Fuente: elaboración propia

1.1.2 Composición de una pintura.

1.1.2.1 Pigmento²⁵: el pigmento en una pintura es el encargado de brindar el color, la tonalidad y la opacidad de la misma, también, determina el poder cubriente que presenta la pintura, así como la estabilidad del color (que no se pierda con el tiempo), su naturaleza, puede ser mineral u orgánico y su origen puede ser natural o artificial teniendo así para el color rojo muchas posibilidades, especialmente los Óxidos de hierro III, cromo, minio y los colorantes sintéticos (como Colanyl). Los pigmentos deben tener alta mojabilidad o toma de aceite que es la capacidad del pigmento de extenderse y dejar una traza sobre un sólido.

1.1.2.2 Vehículo²⁶: es un líquido (usualmente), que lleva el pigmento suspendido y beneficia al rendimiento de la pintura; está constituido por un aglutinante y un disolvente donde el aglutinante se encarga de mantener el pigmento fijo en la pintura haciendo que las partículas del mismo cohesionen.

²⁵ ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Op. Cit. p 15

²⁶ Ibíd. p 18

Mientras que el disolvente tiene como función dar la fluidez necesaria para ser aplicado; de esta forma se tiene que el disolvente es el vehículo volátil y el aglutinante es el vehículo fijo o ligante.

Del aglutinante dependen varias características de la pintura, tales como la dureza y flexibilidad de la pintura, la adherencia al soporte, la estabilidad a la temperatura, la resistencia al cambio de color, etc. Su composición va desde resinas hasta polímeros acrílicos y dependiendo de la naturaleza de está, se dan los diferentes tipos de pintura como las plásticas, las de aceite o las de agua.

Por otro lado, el disolvente debe poseer ciertas características como ser inerte, ser volátil para cuando sea aplicado se evapore con rapidez disminuyendo el tiempo de secado, debe ser capaz de penetrar en los poros del soporte, debe ser diluyente y debe presentar bajos costos.

1.1.2.3 Aditivos²⁷: son sustancias empleadas para mejorar las propiedades de las pinturas como la estabilidad, la viscosidad, el olor o su manejo durante la aplicación, se pueden encontrar estabilizantes, coalescentes, espesantes, antiespumantes, conservantes y secadores.

1.2 COLORANTES

Los colorantes (ver imagen 3) son sustancias orgánicas o inorgánicas de origen natural o sintético, las cuales tiñen un material y cambian su color de forma permanente. Estos son utilizados para mejorar las características físicas de algunos alimentos, juguetes o cosméticos. Se puede aplicar en disolución o emulsión, el sustrato debe tener cierta afinidad para absorberlo y son solubles en el medio en que se aplican o en el producto final²⁸.

²⁷ ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Op. Cit. p 25

²⁸ SANZ, Ascensión. Química orgánica industrial. La industria de los colorantes y pigmentos. 2011. [sitio web]. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>

Imagen 3. Colorantes



Fuente: FARBE. 2015. [sitio web]. México. Farbe, colorantes para alimentos. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.farbe.com.mx/los-colorantes-para-alimentos/>

1.3 PIGMENTOS

Los pigmentos son aquellos componentes de la pintura que proporcionan el color y la opacidad²⁹, no son solubles en el material por lo que deben ser disueltos cuando se aplican, en el caso de la imagen 4 son pigmentos en polvo, aunque también pueden ser líquidos. Son comúnmente de origen natural, por lo que como consecuencia, estos materiales tienen menor adherencia y durabilidad comparadas con las tinturas y los colorantes, sin embargo, no presentan riesgos a la salud. Según la definición del color registrada en Color Index, “Los tintes y pigmentos naturales comprenden todos aquellos que se obtienen a partir de la materia animal o vegetal sin (o con poco) tratamiento químico.”³⁰

²⁹ ÁGUEDA, Eduardo, *et al.* Embellecimiento de superficies. [en línea]. 3 ed. Ediciones Paraninfo, 2017. p. 34 [Consulta: 20 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428339612/embellecimiento-de-superficies-3-%C2%AA--edicion> p. 10. ISBN: 9788428339612.

³⁰ MARTÍN, Jaime. [Sitio web]. Evaluación de colorantes de origen vegetal y su aplicación en el tinturado de fibras naturales. En: Revista facultad de ciencias agrarias. Cauca: Universidad del Cauca.2007. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://revistabiotechnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotechnologia/article/view/62/48>

Imagen 4. Pigmentos



Fuente: CONCEPTODEFINICIÓN. [sitio web]. México. Definición de pigmento. 2011. [Consulta: 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://conceptodefinicion.de/pigmento/>

1.4 OLEORRESINAS

Son “extractos de especias de los que se ha evaporado el disolvente de extracción, dejando una mezcla de aceite volátil y el material resinoso de la especia”, según la Comunidad Económica Europea (CEE)³¹. En la imagen 5 se aprecia la oleorresina de la paprika líquida, así como su pigmento en polvo.

³¹ COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. [Sitio web]. Propuesta modificada de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 95/2/CE relativa a aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes. 2000. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0451:FIN:ES:PDF>

Imagen 5. Oleorresina y pigmento de paprika.



Fuente: Foodchem. [sitio web]. Estados Unidos. Colorante alimentario oleorresina de pimentón. 2018. [Consulta: 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://food-colorant-paprika-oleoresin-120000-60627884728.html>

1.5 MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES

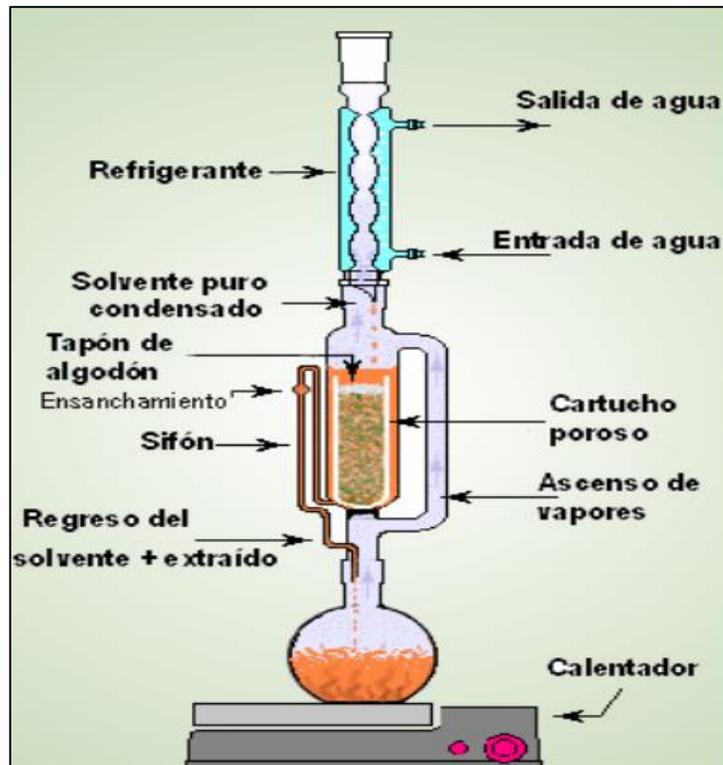
1.5.1 Extracción por solventes – Soxhlet. En los años 1870, este método de extracción fue uno de los más utilizados para la obtención de aceites en frutas y vegetales iniciando solo con procesos Batch, que luego de la segunda guerra mundial, se volvieron procesos continuos y en contraflujo, con la finalidad de obtener aceite de los vegetales que contenía incluso muy bajas concentraciones de este³².

Es un método tradicional en la industria (alimentaria, farmacológica, etc.) y se basa en la separación de compuestos que no se pueden volatilizar en fase gaseosa, y que con la ayuda de un disolvente y altas temperaturas es posible separar los

³² MELO, Andrés; MORA, Nelson. Evaluación técnico-financiera para el proceso de obtención de aceite vegetal a partir de aguacate (*Persea americana*) variedad Lorena. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Fundación Universidad de América, 2018. [Consultado: 15 diciembre 2018]. p 38. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6947/1/6131983-2018-2-IQ.pdf>

analitos de interés, para que posteriormente se realice la separación del solvente. Se puede hacer de forma fácil y rápida, ayudando así a reducir costos del proceso que en si ya es costoso por la pureza requerida del solvente inicial y la cantidad de energía necesaria para calentar el solvente y condensarlo posteriormente³³.

Imagen 6. Extracción con Soxhlet en el momento en que se produce el sifonamiento del solvente.



Fuente: documentos públicos. [sitio web]. Extracción de aceite de maíz. 2016. [Consulta: 25 junio 2019]. Disponible en: <https://edoc.pub/queue/extraccion-de-aceite-de-maizpdf-pdf-free.html>

Como se muestra en la imagen 6, este equipo presenta un trabajo cíclico, donde se tiene un solvente el cual debe ebullicir a una temperatura inferior a la que se degradan los carotenoides, allí el solvente en estado gaseoso entra en contacto con las partículas de la materia vegetal o frutal, luego pasa a un condensador que hace que éste vuelva a ser líquido y caiga en la recamara inicial, haciendo que el proceso se repita las veces que sean necesarias para obtener la cantidad de aceite vegetal deseada.

³³ *Ibíd.* p 38

En el caso del pimentón, usualmente se utiliza el hexano, que por sus propiedades fisicoquímicas es el más eficiente a la hora de desarrollar dicha extracción, respecto a los rendimientos a nivel laboratorio, se tiene que con acetona se alcanza un rendimiento de 6.1 % en 2 horas, con acetato de etilo 4.2% en 2 horas y con hexano 2.9% en 30 minutos³⁴.

Este método a su vez presenta grandes desventajas en las industrias farmacéutica, alimenticia y cosmética, porque son de carácter inflamable y tóxico y no es posible la remoción total de los mismos. A pesar de esto la acetona es el componente que se puede eliminar más fácilmente de las muestras y está permitido para la extracción de esta oleoresina según la FDA.

1.5.2 Extracción por prensado en frío. En 1975, inicia la extracción por prensado en frío que consiste en la división de fluidos a bajas temperaturas, siendo un método mecánico se utiliza especialmente en la extracción de aceites vírgenes³⁵.

El proceso consiste en poner el material en una prensa, como se aprecia en la imagen 7, donde la temperatura no puede superar los 45 °C para asegurar la estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados y se presiona para extraer la mayor cantidad de aceite posible; luego se lleva a un proceso de decantación en tanques de acero inoxidable y se bombea por un filtro de algodón descartable³⁶ donde las dos fases que se obtienen, se dividen obteniendo los componentes grasos líquidos de los demás componentes³⁷.

³⁴ CARDONA, Jhon. Obtención de oleoresina de pimentón (*capsicum annum*). VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. [en línea]. 2006, 13. (41). p. 6 [Consultado: 20 septiembre 2018]. ISSN 0121-4004. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n1/v13n1a01.pdf>

³⁵ PRENSANDO EN FRÍO. 2019.[sitio web]. España. Aceites: extracción por prensado en frío párr 1. [Consulta: 13 mayo 2019]. Disponible en: http://www.prensandoenfrio.com/71041_es/prensado-en-frio-la-elaboracion-mas-natural-del-aceite-de-semillas/

³⁶ *Ibíd.* párr. 1.

³⁷ MELO, Op.cit. p.39

Imagen 7. Prensado en frío del aceite de oliva.



Fuente: DIRECTO DEL OLIVAR. Aceite de primera prensada, presión o extracción en frío. [video]. España. You Tube. 2017. [Consultado: 25 junio de 2019]. Disponible en: <https://www.directodelolivar.com/aceite-de-oliva-de-extraccion-en-frio/>

1.5.3 Extracción por centrifugación.³⁸ La centrifugación, es un método de separación de dos fases mediante fuerza centrífuga y diferencia de densidades, convirtiéndola así en otro método de separación mecánica. En la extracción de aceites presenta altas dificultades puesto que el líquido es fácilmente extraíble, mientras que el aceite, debido a su densidad queda adherido a las paredes del recipiente (a nivel laboratorio los tubos Falcon) haciendo que su separación sea difícil y se generen pérdidas.

1.5.4 Extracción con fluidos supercríticos-FSC. Nacen con la idea de ser el remplazo a la tecnología Soxhlet y es la más moderna extracción de aceites, debido a que no presenta solventes que puedan afectar al producto final, mantiene casi intactas las propiedades químicas y físicas de la materia prima haciendo de este el método mejor planteado hasta el momento a pesar de ser una metodología reciente (desde los años 90's)³⁹.

El proceso para la extracción de aceites con fluidos supercríticos consiste en agregar la materia prima al extractor junto con el fluido seleccionado en condiciones supercríticas (presión y temperatura), de esta forma el aceite va descendiendo y el fluido va ascendiendo haciendo que las partículas de los dos entren en contacto y se disuelvan los componentes del aceite dándose inmediatamente la filtración⁴⁰.

³⁸ MELO, Op.cit., p.40

³⁹ MELO, Op.cit., p.41

⁴⁰ OMEGAFORT. Que es la SCC. Un novedoso método de extracción de omega-3. Cómo se obtiene en omega-3 supercrítico [video]. España. You Tube. 2017. [Consultado: 25 junio de 2019]. Disponible en: <http://www.omegafort.es/que-es-scc/>

Los fluidos supercríticos son aquellos que son llevados a sus propiedades críticas (más allá de su punto crítico) tanto de presión, temperatura y volumen tal como se observa en la Tabla 1 y se comportan como gas y como líquido. Se basa en cuatro principios básicos: extracción, expansión, separación y compresión del fluido.

Tabla 1. Propiedades críticas de fluidos de interés en procesos supercríticos

Fluido	Temperatura crítica Tc/K	Presión crítica Pc/bar	Volumen crítico Vc/cm ³ ·mol ⁻¹
Dióxido de carbono	304.12	73.7	94.07
Etano	305.3	48.7	145.5
Propano	369.8	42.5	200.0
Agua	647.1	220.6	55.95
Amonio	405.4	113.5	72.47
n- hexano	507.5	30.2	368.0
Metanol	512.6	80.9	118.0

Fuente: GIL, Maritza, *et al.* Obtención de la oleorresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto. En: UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Perspectivas y avances de investigación. [en línea]. Medellín: artes y letras, Universidad de La Salle, 2010. p.5. [fecha de consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/64>

El CO₂ es el fluido supercrítico más utilizado en la extracción de oleorresina de paprika, debido a que es abundante en la naturaleza, es económico, fácil de transportar y no es tóxico, debido al carácter lipofílico de los carotenoides de la páprika, la solubilización es sencilla en el CO₂ supercrítico permitiendo su extracción a bajas temperaturas impidiendo la pérdida de estos compuestos termolábiles, además el gas puede ser recirculado en el proceso.⁴¹

Actualmente no es utilizado industrialmente debido al costo que acarrea tener estos componentes a condiciones tan específicas y presiones tan altas, además de ser de alto riesgo para operación; otro factor que no ayuda a los fluidos supercríticos es el escalado a planta, en el caso del método Soxhlet es posible tener un diseño a escala laboratorio, llevarlo a banco y proceder a planta, hecho que no es posible con esta extracción.

⁴¹ GIL. Op.cit., p. 426

1.5.5 Extracción con enzimas. Al igual que los fluidos supercríticos, la extracción con enzimas es un método reciente, a pesar de que las enzimas a nivel industrial fueron utilizadas desde el siglo XIX en Japón y Dinamarca, en Colombia en la extracción de oleorresina de paprika no se han presentado estudios hasta el momento debido al coste de importación estas enzimas.

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los principales métodos de extracción de aceites esenciales tomado del grupo de investigación procesos ambientales y biotecnológicos de la Universidad EAFIT, en su proyecto “Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía “cero emisiones””.

Cuadro 2. Análisis comparativo de los principales métodos de extracción de aceites esenciales.

MÉTODO DE EXTRACCIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
DESTILACIÓN CON VAPOR	Método industrial y de laboratorio. Buenos rendimientos en aceite extraído. Obtención del aceite puro, libre de solvente. Bajo costo; tecnología no sofisticada.	Procesos colaterales como polimerización y resinificación de los terpenos; hidrólisis de ésteres; destrucción térmica de algunos componentes; no es aplicable a flores.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES VOLÁTILES (Éter de petróleo, pentano, hexano, etc.)	Uso de temperaturas bajas. No provoca temodestrucción ni alteración química de los componentes del aceite. Posibilidad de separación de componentes individuales.	Costoso, contaminante del ambiente, riesgo de incendio y explosión. Difícil separar completamente el solvente sin alterar la composición el aceite. Coextracción de ácidos grasos, ceras, pigmentos.
EXTRACCIÓN CON CO₂ SUPERCRÍTICO	Alto rendimiento. Ecológicamente limpio. Fácil retiro y reciclaje del solvente. Bajas temperaturas de extracción. No hay alteración química del aceite. Cambiando parámetros operacionales se puede variar la composición del aceite.	Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. ALTA INVERSIÓN INICIAL
MACERACIÓN CON SOLVENTES NO VOLÁTILES Y ENFLEURAGE	Uso de bajas temperaturas. Ausencia de destrucción térmica y deterioro químico de los componentes del aceite. Extracción de esencias de flores delicadas (rosa, jazmín, azahar, etc.)	Operación costosa, demorada. Poco rendimiento del aceite. Difícil separación del solvente (aceites vegetales)

Fuente: GIL, Edison y SÁEZ, Alex. Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía “cero emisiones”. En: Universidad EAFIT. [en línea]. Medellín. 2012. p.5. [fecha de consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1363>

1.6 SOLVENTES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES

Un solvente es un líquido con propiedades que favorecen que un soluto se disuelva correctamente. Los solventes pueden ser polares o apolares y dependiendo de esta característica y de la naturaleza del soluto, dependerá el rendimiento y el tiempo de extracción que se vaya a dar. Es conocido como *disolvente* debido a que envuelve y nutre a las moléculas del soluto formando un compuesto con propiedades de la parte líquida y sólida, este procedimiento es llamado Solvatación en la preparación de soluciones⁴².

La FDA (*Food and Drugs Administration*) autoriza el uso de compuestos como la acetona y alcoholes (etanol, metanol) para la oleorresina de paprika por su casi absoluta eliminación en la oleorresina y su baja toxicidad. De acuerdo con artículos como: “Obtención de oleorresina de pimentón” de Jhon Cardona y colaboradores⁴³; “Obtención de la oleorresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto” de Maritza Gil y colaboradores⁴⁴ y “Colorantes Naturales y la oleorresina de paprika” por Alberto Plaza y Olga Lock⁴⁵; se puede decir que el solvente más adecuado en rendimiento y colorimetría ASTA es la acetona siendo el solvente escogido en los tres artículos para la metodología soxhlet, y que los pretratamientos térmicos ayudan a disminuir el tiempo de extracción y aumentar la concentración del color en el pimentón.

Acetona⁴⁶: es una sustancia química presente en vegetales como la cebolla y el tomate, en productos animales como leche y más; debido a su bajo punto de ebullición (56.2 C) puede ser utilizado en la extracción de carotenoides sin posibilidad de degradarlos; es especialmente utilizada como disolvente en industria química para la producción de Metil metacrilato, Ácido Metacrílico y metacrilatos de mayor tamaño, así como solvente para revestimientos, resinas, tintes, barnices, lacas, adhesivos y acetato de celulosa. También es utilizado en la industria de alimentos para extracción de aceites y grasas debido a la polaridad que presenta, esto se aprecia en la imagen 8.

⁴² CONCEPTO DEFINICIÓN. [sitio web]. España. En Concepto definición. párr. 2. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://conceptodefinition.de/solvente/>

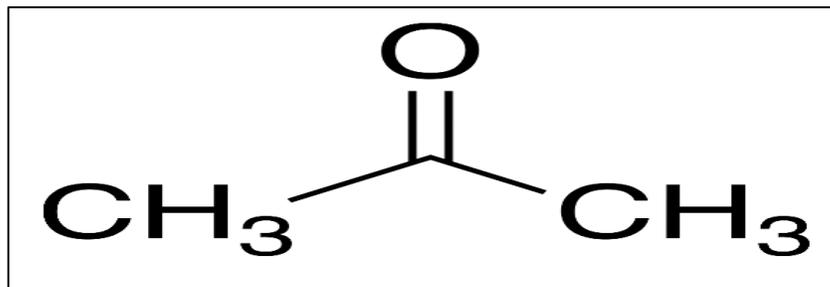
⁴³ CARDONA, Op. Cit. p 4.

⁴⁴ GIL. Op.cit., p. 432

⁴⁵ PLAZA. Alberto. SING, Olga. Colorantes Naturales y la Oleorresina de paprika. Revista de Química. [en línea]. 1997, 11. (1). p. 81 [Consultado: 20 septiembre 2018]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5271/5265>

⁴⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Guías de concentraciones en aire y suelo. En: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Bogotá. IDEAM. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia1.pdf>

Imagen 8. Fórmula química de la Acetona



Fuente: GLOSARIO DE QUÍMICA. [sitio web]. España.
[Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en:
<https://glosarios.servidor-alicante.com/quimica/acetona>

Según la NFPA 704 su peligrosidad es:

Salud: 1, poco peligroso

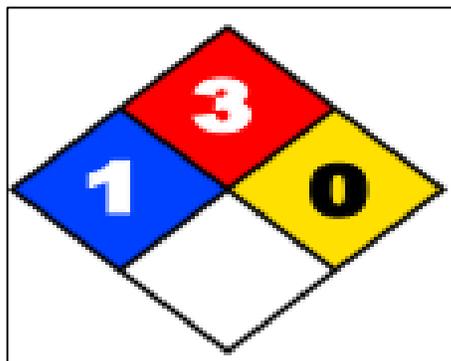
Inflamabilidad: 3, se inflama < 37°C

Reactividad: 0, estable

Sin riesgos específicos. No presenta riesgos al medio ambiente

La Ficha de datos de seguridad Acetona se presenta a continuación:

Imagen 9. Peligrosidad Acetona



Fuente: ficha de datos de seguridad Acetona GTM Holdongs. [sitio web]. España.
[Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en:
<http://www.gtm.net/images/industrial/a/ACETONA.pdf>

1.7 TIPOS DE MADERA (SOPORTE)

Se considera que un soporte para pintura es la superficie en la cual se va a aplicar este elemento, en el caso de los juguetes de madera el soporte puede ir variando entre los diferentes tipos de madera puesto que algunos son más porosos, otros más oscuros y algunos más lisos. Sin embargo, debido a la concientización ambiental generada a través de los años, algunas empresas de juguetes utilizan madera reforestada, entre las que se destacan el MDF y el triplex, otras continúan con madera tradicional como lo son el pino y el perillo⁴⁷.

1.7.1 MDF⁴⁸: por sus siglas en inglés Medium Density Fiberboard (Tablero de fibras de densidad media), es un tablero que se obtiene de aplicar presión y calor a fibras de madera a las que previamente se les ha añadido un adhesivo utilizado en ambiente seco. Suelen tener densidades superiores a 450 kg/m³. Usualmente se componen de un 80% de fibras, 10% de resinas sintéticas, 7 % agua y hasta un 1% de parafinas.

Imagen 10. Juguetes en MDF.



Fuente: LETRAS CORPÓREAS. Juguetes en MDF juguetes infantiles. [en línea]. Argentina. 2018. [fecha de consulta: 18 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.cycletrascorporeas.com.ar/producto/corte-en-mdf-juguetes-infantiles-/61/>

⁴⁷ DIDÁCTICOS PINOCHO S.A. Op. Cit. Párr 2.

⁴⁸ AITIM. MADERA PRODUCTOS BÁSICOS Y CARPINTERÍA. Tableros de fibras MDF. [Sitio web]. Bogotá: [Consulta: 13 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://www.csaec.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Tableros_Fibras%20MDF_15.06.2015.pdf

1.7.2 Triplex⁴⁹: es una lámina formada por un número impar de capas de madera superpuestas, donde se forma un ángulo recto entre las dos capas adyacentes. Se unen mediante pegamento, presión y temperatura. Suele inmunizarse para diferentes tipos de trabajo, suele utilizarse en todo tipo de campos como construcción, muebles, entre otros.

Imagen 11. Juguetes en Triplex.



Fuente: SHOPPING SHOP. Juguetes en Triplex. [en línea]. España. 2018. [fecha de consulta: 22 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.excursioneslazoleon.es/gt3-a%C3%B1os-P026-combinaci%C3%B3n-Triplex-de-lujo-del-centro-de-tr%C3%A1fico-del-puente-de-nieve-puede-montar-libremente-juguetes-compatibles-con-la-pista-de-tren-de-madera-Thomas-TRAIN-Os7Nd6Fk1Qm1-Mejor-p-477.html>

1.7.3 Pino Pátula⁵⁰: es una especie nativa de regiones subtropicales de México, en Colombia esta especie ha sido introducida desde Sudáfrica y México. Es la conífera más ampliamente utilizada en los trópicos y subtropicos. Puede alcanzar un diámetro de 120 cm y alturas hasta de 40 metros. “Posee una densidad anhidra mediana de 0.48 g/cm³ y una densidad básica de 0.43 g/cm³. La madera es blanda, es de fácil preservación por los métodos de inmersión, baño caliente-frio y vacío-presión, lo cual permite utilizarla en construcción, como tablilla para pisos, postes de transmisión de energía y telefónicos”.⁵¹

⁴⁹ LA TIENDA DEL TRIPLEX. [sitio web]. Medellín: párr 2. [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.latiendadeltriplex.com/triplex>

⁵⁰ OSPINA, Carlos, *et al.* El Pino Pátula. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. Colombia. 2011. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/pinus.pdf>

⁵¹ *Ibid.*, p. 8.

Imagen 12. Juguetes en Pino.



Fuente: ARTESANÍAS TALLA MADERA. Juguetes. [en línea]. España. 2018. [fecha de consulta: 3 febrero 2019]. Disponible en: http://artesianiatallamadera.com/juguetes_y_productos.php

1.7.4 Perillo ⁵² : madera autóctona colombiana. Posee buena estabilidad dimensional, propiedades mecánicas medianas. Su árbol puede alcanzar los 40 metros de alto y hasta 1 metro de diámetro.

Imagen 13. Juguetes de perillo.



Fuente: FAIRCHANGES. Animales de juguete en madera para construir set de 4. [en línea]. España. 2018. [fecha de consulta: 3 febrero 2019]. Disponible en: <http://top.fairchanges.com/es/animales-de-juguete-en-madera-para-construir/wodibow/1/3522>

⁵² INFOMADERAS. [sitio web]. Colombia. Maderas de Colombia: Perillo. 2017. párr. 6. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: <http://infomaderas.com/2014/01/29/maderas-de-colombia-perillo/>

1.8 ARBUSTO DE ACHIOTE

El achiote es originario de América Tropical, inicialmente utilizado como pintura y para tatuar el cuerpo, actualmente algunas tribus lo utilizan como insecticida, así como para teñir telas (proceso tradicional con algodón o lana)⁵³. “La planta del achiote es un arbusto de rápido crecimiento, que alcanza de cuatro a seis metros de altura, su aspecto es robusto, con flores muy vistosas y de color blancas o rosadas según sea la variedad; el fruto es una cápsula de color pardo rojizo o amarillo verdoso que contiene de 30 a 45 semillas cubiertas por una delgada capa o arilo que, por su contenido de Bixina y Norbixina, es de color rojo o anaranjado y constituye la sustancia tintórea propiamente.”⁵⁴.

Imagen 14. Fruto de Achiote.



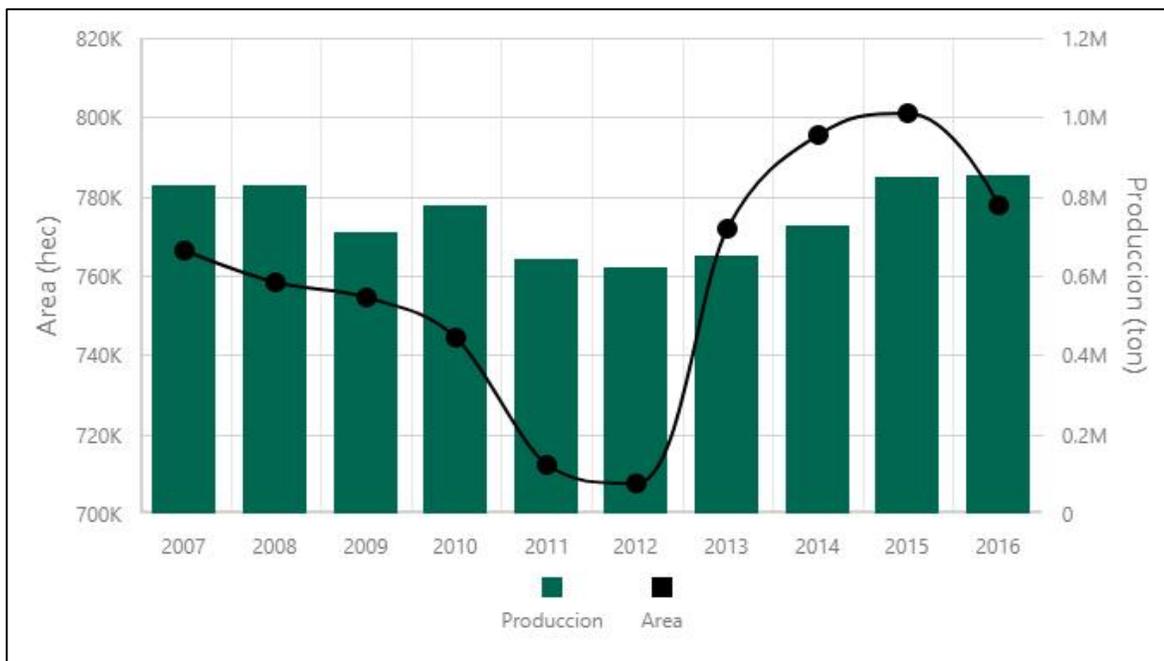
Fuente: MEDICINA NATURAL ALTERNATIVA. [sitio web]. Propiedades medicinales y beneficios del achiote. párr 1. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://medicinanatural-alternativa.com/para-que-sirve-el-achiote-medicinal/>

Según datos reportados por el Ministerio de Agricultura de Colombia mostrados en la gráfica 1, se puede observar como a través de los años la producción de achiote ha ido en aumento, generando así una oportunidad importante en el sector industrial especialmente de pigmentos y como colorantes alimenticios.

⁵³ DEVIA. Op. Cit., p. 4

⁵⁴ DEVIA. Op. Cit., p. 8.

Gráfica 1. Producción y área cosechada de achiote al 2016.



Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Estadísticas agropecuarias. Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. En: AGRONET. Bogotá: AGRONET. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo JPG. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

A pesar de disminuir la cantidad de hectáreas sembradas en el año 2016 por la dificultad del cuidado del cultivo de achiote, la producción se mantuvo constante gracias a estudios realizados en el departamento del Chocó y en el Urabá Antioqueño por la empresa Colorganics para la creación de una planta productora de este colorante alimenticio⁵⁵ en el que buscaban tener mayores eficiencias en la producción capacitando a las familias campesinas, también se buscaba que en los años posteriores (2017 al 2020) el área de producción también aumentara (a la fecha de elaboración de este documento, no hay datos de la cantidad de hectáreas sembradas en los años 2017 y 2018). La caída abrupta en los años 2011 y 2012 obedece especialmente a factores climatológicos presentándose el mismo fenómeno en los demás productos agrícolas.

1.9 DEFINICIÓN DE PIMENTÓN–PAPRIKA–PÁPRIKA

El pimentón (*Capsicum annum L.*) es una hortaliza perteneciente a la familia de las Solanáceas, utilizada ampliamente a nivel industrial como colorante y como

⁵⁵ CONtexto ganadero. [sitio web]. Colombia: CONtexto ganadero, Colombia tendrá planta de extracción de achiote para dar color a alimentos párr. 3. [Consulta: 9 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/agricultura/colombia-tendra-planta-de-extraccion-de-achiote-para-dar-color-alimentos>

condimento; en su oleorresina se encuentra la mayor cantidad de carotenoides derivados de fuentes vegetales⁵⁶. Está compuesta de: pigmentos carotenoides (carotenos y xantófilas), la Capsaicina, ácidos grasos, vitaminas, esteroides y esteroides.

La paprika suele ser comúnmente confundida con el pimentón (imagen 15), pero en español la paprika es el producto industrial del pimentón rojo (en inglés el pimentón es llamado paprika sin distinción), deshidratado y molido usado como condimento⁵⁷, aunque también suele referirse a cualquier producto industrial del pimentón rojo como las oleorresinas.⁵⁸

Imagen 15. Pimentón rojo.



Fuente: ALIMENTOS. [Sitio web] Información acerca del pimentón rojo párr. 2. [Consulta: 9 febrero 2019]. Disponible en: <https://alimentos.org.es/pimiento-rojo>

Debido al auge de colorantes alimenticios, países como Estados Unidos han visto en Colombia el potencial para ser productores y exportadores de pimentón, hecho que según el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Industria y Comercio se va

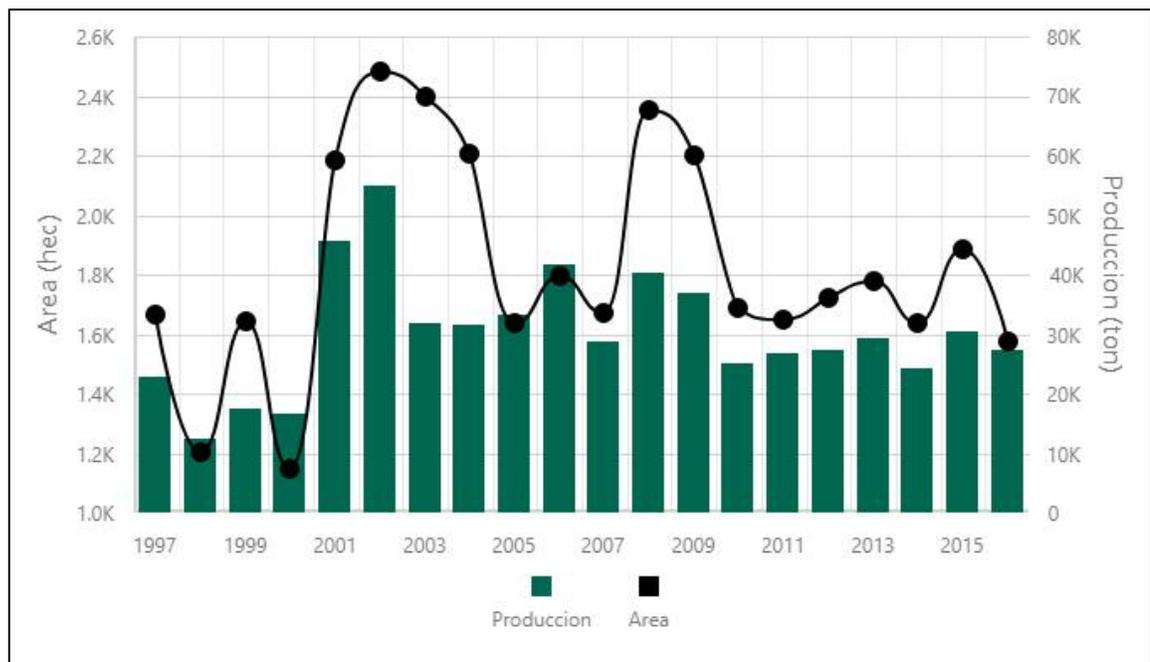
⁵⁶ CARDONA. Op. Cit., p.6.

⁵⁷ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DICCIONARIO PANHISPÁNICO DE DUDAS. [sitio web]. Colombia. En Real Academia de la lengua española, RAE. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: lema.rae.es/dpd/srv/search?id=piMyVydqBD6anWPOhZ

⁵⁸ AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos: The voice of the U.S. Spice industry in the global market. p 3-23. 1989. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.astaspice.org/food-safety/astas-analytical-methods-manual/>

a dar este año (2019). Hasta el 2016 la producción de pimentón se ha mantenido por encima de las 25 mil toneladas/año como lo reporta en Ministerio de Agricultura de Colombia en sus informes anuales y visibles en la gráfica 2. Los departamentos que presentan mayor producción de este alimento son Antioquia, Santander, Norte de Santander y Valle del Cauca. Debido al cuidado que presenta el pimentón, el área cosechada ha variado de una manera más significativa que el achiote, el factor principal para la disminución o aumento de hectáreas es el requerimiento internacional que para el 2016 decreció.

Gráfica 2. Producción y área cosechada de Pimentón



Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Estadísticas agropecuarias. Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. En: AGRONET. Bogotá: AGRONET. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo JPG. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

El 2016, según informes brindados por el Ministerio de Agricultura el sector agropecuario creció 0.5% mientras la economía en su conjunto lo hizo en 2 % ubicándose 1.5 puntos porcentuales por debajo de la economía nacional⁵⁹ lo que muestra por qué se presentó una caída en la producción de pimentón en el año 2016, a pesar de esto, la producción de pimentón ha ido al alza (aunque no se tienen cifras oficiales después del año 2016) esto se comprueba con las cifras dadas por

⁵⁹ MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Informe de rendición de cuentas 2017. En: MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. [sitio web]. Bogotá: Minagricultura. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/Documentos%20Publicos/RENDICION%20DE%20CUENTAS%20-%20INFORME%202016-2017.pdf>

el Ministerio de Agricultura que aseguró que la exportación de pimentón del año 2018 aumentó 47.8% con respecto al año inmediatamente anterior⁶⁰.

1.10 COLORANTE DE ACHIOTE

El pigmento de achiote, es ampliamente utilizado en industrias de alimentos (carnes, lácteos, etc.); en condimentos, cerámicas y pintura, así como en jabones y en la industria farmacéutica⁶¹. El achiote es extraído gracias a solventes inorgánicos.

Tradicionalmente se extraía el achiote en polvo de dos maneras, en la primera con agua hirviendo se remoja la semilla, la solución coloreada se fermentaba y se evaporaba el agua para así obtener la torta sólida y después se molía; la segunda era macerar las semillas, agregarles agua caliente, esperar a que se diera la sedimentación y luego se evaporaba.⁶²

A nivel industrial la extracción se puede realizar de 3 maneras⁶³:

- **Álcali acuoso:** al ser un ácido carboxílico, la Bixina forma sales al agregarle un álcali acuoso, de esta forma se da una fácil extracción de colorante con el Hidróxido de potasio (*KOH*) o el Hidróxido de Sodio (*NaOH*), de hecho, con este álcali se presenta mejor rendimiento y calidad en color que con otros usados industrialmente según la empresa productora de pigmentos de achiote para alimentos KALSEC, además, la utilización del ácido para precipitar, hace de este un proceso rápido, el ácido utilizado muchas veces puede reutilizarse.
- **Aceites vegetales:** Se extrae el colorante diluyéndolo en aceite vegetal caliente, debido al carácter hidrofóbico de la Bixina, imagen 16, esta se disuelve fácilmente en el aceite.

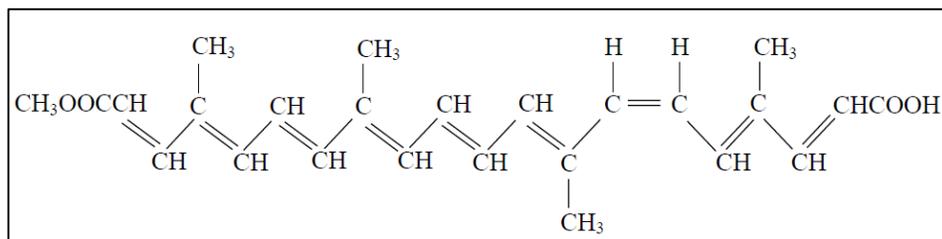
⁶⁰ MINISTERIO DE COMERCIO. [sitio web MINISTERIO DE COMERCIO. Pimentón colombiano, a un paso de llegar a Estados Unidos, el mayor importador a nivel mundial. párr 4. [Consulta: 15 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/pimenton-colombiano-a-un-paso-de-llegar-a-estados>

⁶¹ DEVIA. Op. Cit. p. 4.

⁶² DEVIA. Op. Cit. p. 7

⁶³ *Ibíd.*, p. 9

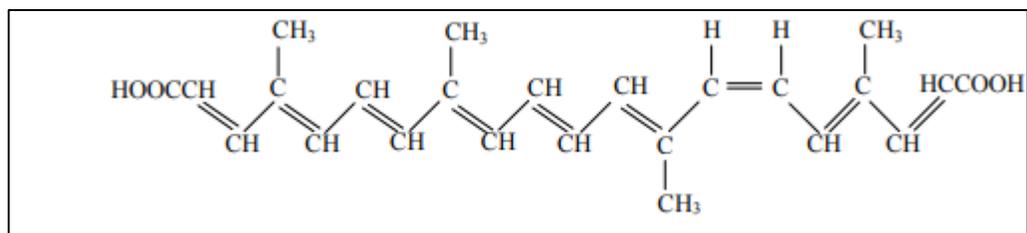
Imagen 16. Estructura de la Bixina.



Fuente: DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

- Agua: se realiza la extracción con agua caliente por 24 horas a una temperatura constante y aproximada de 40°C y las semillas molidas debido a que la Norbixina (producto hidrofílico) se encuentra dentro de la semilla del achiote, fórmula química mostrada en la imagen 17.

Imagen 17. Estructura de la Norbixina.



Fuente: DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

Este proyecto se enfoca en la Bixina (ver imagen 17) y la Norbixina (ver imagen 18) los cuales son los responsables de proveer un color rojo al achiote, para impedir la degradación de estos compuestos, el proceso debe realizarse a temperaturas inferiores de los 70 °C. La composición de las semillas de achiote ha sido estudiada para diferentes fines, el más común de ellos es como colorante. En el cuadro 1 se observan las generalidades de la semilla, y en el cuadro 2 los compuestos que hacen de esta semilla un tinte muy apetecido en la industria alimenticia:

Cuadro 3. Composición de las semillas de Achiote (*Bixa Orellana*).

Compuesto	Contenido (%)
Humedad	8 – 13
Proteína	13- 14.24
Celulosa	13.8
Fibra cruda	18.48
Almidones	11.45
Carbohidratos totales	39.91
Ceniza	4.50 – 7.97
Energía	54 Kcal
Densidad	0.625 g/mL

Fuente: DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

Cuadro 4. Composición del pigmento de Achiote (*Bixa Orellana*).

Compuesto	Composición (g/100g)
Proteínas	12.3 - 13.2
Pectina	0.23
Carbohidratos	39.91 – 47.90
Ceniza	5.44 – 6.92
Taninos	0.33 – 0.91
Pentosanos	11.35 – 14.97
Carotenoides	1.21 – 2.30
β-Carotenos	6.8 – 11.30 mg

Fuente: DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

1.11 OLEORRESINA DE PAPRIKA

“Se puede definir a la oleorresina de paprika como un extracto graso de viscosidad media, intenso color rojo, es perfectamente soluble en aceites y grasas”⁶⁴, esta oleorresina se obtiene del proceso de extracción y concentración del pimentón y dado su carácter natural es permitido en la legislación para la industria alimentaria. Su uso es práctico y económico, puesto que no requiere grandes espacios de almacenamiento, permite preservar el producto más tiempo⁶⁵, da uniformidad de

⁶⁴ PLAZA. Op. cit., p. 85

⁶⁵ CARDONA. Op. cit., p.23

color, es estable, de fácil manejo, económico y presenta resistencia a alteraciones microbiológicas⁶⁶.

Industrialmente se han realizado varios tipos de extracciones, siendo la extracción con fluidos supercríticos la más reciente y al mismo tiempo la más compleja a nivel industrial, esto principalmente por temas económicos y por el manejo de presiones por encima de 40 bares para extracción de paprika⁶⁷. En la extracción por Soxhlet, la cual es la más común y ampliamente utilizada en la industria, “Esta, se basa en la separación de compuestos que no se pueden volatilizar en fase gaseosa, pero que en presencia de solventes orgánicos y altas temperaturas se puede obtener una óptima separación de los analitos presentes en los compuestos con un alto rendimiento y alto porcentaje de recuperación de solventes”⁶⁸. Actualmente esta técnica tiene varias ventajas como el tiempo de extracción, el rendimiento y el costo, Sin embargo, también presenta varias desventajas, entre las más importantes, se encuentra la utilización de solventes altamente inflamables, contaminantes, la toxicidad, como es el caso del hexano, el más común en la industria.

Esta oleoresina, es un extracto obtenido de la paprika y se compone básicamente de carotenoides (principales pigmentos rojos y naranjas orgánicos), capsaicinoides y vitaminas⁶⁹; de hecho, de esta oleoresina se obtienen de las más altas concentraciones de carotenoides derivados de fuentes vegetales⁷⁰. Los carotenoides son los encargados de dar esa pigmentación amarilla - naranja y roja - naranja que caracteriza a este producto; es por esto que la sustancia obtenida es sensible a altas temperaturas y alto grado de luminosidad, viéndose degradados por isomerización en las estructuras de los principales carotenoides responsables del color en la paprika, los dos colorantes rojos de la paprika son las *Capsantina* y la *Capsorrubina*, estas estructuras se muestran en la imagen 18⁷¹.

⁶⁶ PLAZA. Op. cit., p. 87

⁶⁷ Ibid., p. 88

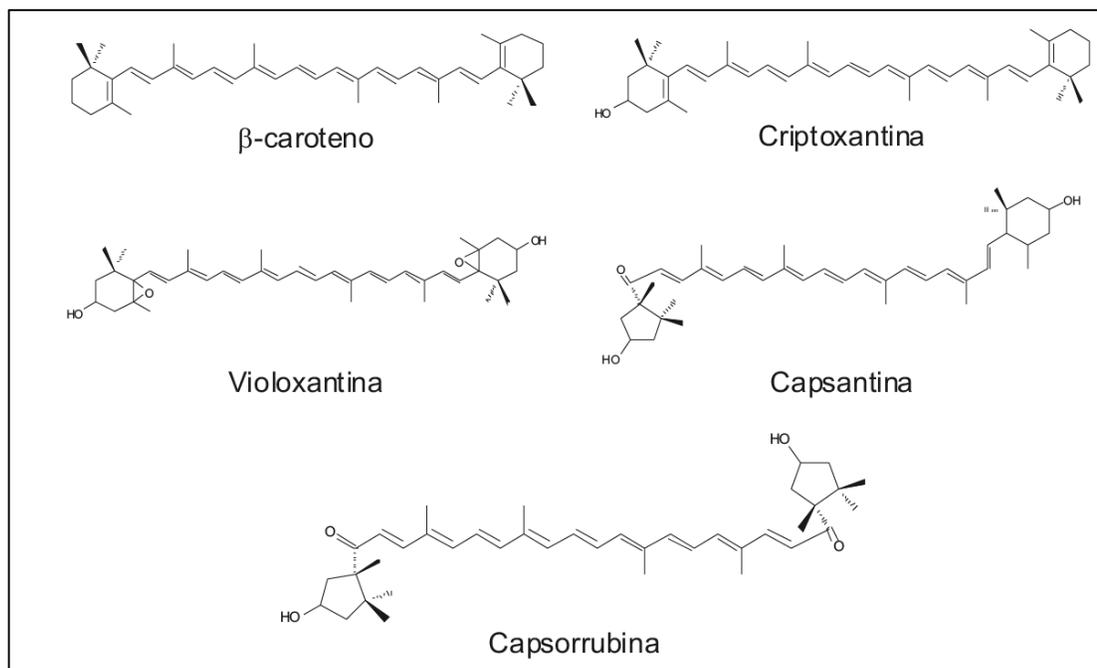
⁶⁸ GIL. Op. cit. p. 417

⁶⁹ CARDONA. Op. Cit. p. 2

⁷⁰ Ibid., p. 2.

⁷¹ GIL. Op. cit. p. 418

Imagen 18. Estructura de los principales carotenoides presentes en la paprika.



Fuente: GIL, Maritza, *et al.* Obtención de la oleoresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto. En: UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Perspectivas y avances de investigación. [en línea]. Medellín: Artes y letras, Universidad de La Salle, 2010. p.5. [fecha de consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/64>

Los aceites grasos del género *Capsicum*, est n conformados principalmente por triglicéridos (casi en 60%), predominando los ácidos grasos insaturados, especialmente el ácido linoleico, estos aceites aumentan con la maduraci n⁷².

1.12 TRATAMIENTOS T RMICOS⁷³

Los tratamientos térmicos involucran varios procesos de calentamiento y enfriamiento para destruir la carga microbiana que pueda llegar a ocasionar el deterioro en la calidad física, química o biológica. Su objetivo es proporcionar cualidades específicas a los alimentos para su uso posterior. Los tratamientos térmicos de calentamiento más conocidos en la industria alimentaria son:

⁷² PLAZA. Op. cit., p. 87

⁷³ CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ADVENTISTA. Informe final de investigación. En: CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ADVENTISTA. 2011. [sitio web]. Medellín. [Consulta: 27 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en:

https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Enero2012/IF_ENER O%202012/IF_CACERES_PAREDES_FIPA/Informe_final_Investigacion_Proyecto_2011.pdf

- Escaldado⁷⁴: es un tratamiento térmico en el que se emplea agua a altas temperaturas (85 a 95 °C) por cortos periodos de tiempo de 3 a 5 minutos, usualmente suele utilizarse en frutas y verduras que son termolábiles (como el pimentón) para facilitar procesos posteriores como el secado eliminando los gases presentes en la estructura porosa del tejido vegetal que permite fijar la pigmentación natural del alimento.
- Pasteurización⁷⁵: se aplica a alimentos termolábiles con temperaturas inferiores a los 100 °C y mayores tiempos que en el escaldado, su principal función es la eliminación de microorganismos que puedan llegar a producir alteraciones al alimento y sean de riesgo para la salud humana.
- Esterilización⁷⁶: se utilizan temperaturas superiores a 100 °C por tiempos variados con el fin de eliminar todos los microorganismos sean o no patógenos.

1.13 Freído⁷⁷: esta operación unitaria, a diferencia de los anteriores, no pertenece al grupo de tratamientos térmicos, ya que es un proceso de cocción propiamente. En él, se manejan temperaturas de entre 150 y 200 °C y al igual que el escaldado ayuda a fijar pigmentos en los vegetales. Para este proyecto se va a suponer el proceso de freído, como un tratamiento térmico, en el que se busca intensificar el color del pimentón, debido a que los demás tratamientos manejan temperaturas muy altas y no concentran el color en el alimento.

1.14 MARCO LEGAL

Debido al interés de fabricar una pintura que sea utilizada en juguetes de madera, la formulación planteada debe cumplir con la normatividad NTC-EN-71-3 (1997-05-28) para juguetes; en cumplimiento con el reglamento técnico Colombiano obligatorio: *Resolución 3388 de 2008* del Ministerio de la Protección Social. Esta norma contiene los límites máximos de migración de metales posibles que pueden presentarse en los juguetes de madera, así como el límite máximo de biodisponibilidad diario que del uso del jugué cede, como es mostrada en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles máximos de migración de metales permitidos

<i>Metal</i>	<i>Cantidad (µg)</i>
Antimonio	0,2
Arsénico	0,1
Bario	25

⁷⁴ CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ADVENTISTA. Op. cit., p. 1 -2

⁷⁵ Ibid., p. 2

⁷⁶ Ibid., p. 2.

⁷⁷ UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA. Efecto del tiempo de uso y el tipo de aceite de freído en las propiedades de nuggets de pescado. En: Temas selectos de Ingeniería de Alimentos. 2011. [sitio web]. México. [Consulta: 27 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Molina-Hernandez-et-al-2012.pdf>

Tabla 2. (Continuación)
Niveles máximos de migración de metales permitidos

Cadmio	0,6
Cromo	0,3
Plomo	0,7
Mercurio	0,5
Selenio	5,0

Fuente: COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Resolución número 3388 de 2008 (08, septiembre, 2008). Por la cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los juguetes, sus componentes y accesorios que se comercialicen en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: Diario oficial. Septiembre, 2008. Nro. 47108. p. Disponible en: [http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)

La resolución 3388 de 2008 presenta todos los posibles juguetes que se pueden llegar a diseñar y las características de cada prueba que a ellos se debe realizar. En el Anexo 2 de la misma resolución, se tiene el método de preparación y de análisis de las muestras de ensayo (numeral 8). Se trata de las muestras necesarias para recubrimientos en soporte; así los recubrimientos pueden ser: pinturas, barnices, lacas, tintas de impresión, polímeros y recubrimientos similares y el soporte a utilizar será la madera.

La determinación de los ocho (8) elementos se hace bajo las siguientes metodologías:

Cuadro 5. Metodologías para la determinación de migración de metales.

Elemento (s)	Metodología	Característica
Arsénico	Espectrofotometría de Absorción atómica con horno de grafito ⁷⁸ .	Atomizado solo 1 vez. Átomos remanentes en el camino óptico permanecen por un tiempo prolongado. Posibilidad de trabajar con pequeños volúmenes de muestra. Instrumentación sencilla.

⁷⁸ MAÑAY. Nelly; CLAVIJO. Giovanna y DÍAZ. Laura. Absorción atómica con horno de grafito. [sitio web]. Bogotá. p 79. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/02ba23e6cc083af03bfc55ac63a98a0c.pdf>

Cuadro 5. (Continuación)
Metodologías para la determinación de migración de metales.

Antimonio Mercurio Selenio	Espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros ⁷⁹ .	Es una espectrofotometría de Absorción atómica con horno de grafito que para aumentar su sensibilidad poseen un accesorio, este es el generador de hidruros. Detecta muy bajas concentraciones. Resultados de 3 a 5 segundos
Bario Cadmio Cromo Plomo	Espectrofotometría de absorción atómica con llama ⁸⁰ .	Se permite trabajo con altos volúmenes de muestra Las interferencias están bien documentadas

Fuente: elaboración propia

La Espectrofotometría de Absorción atómica con horno de grafito y la Espectrofotometría de absorción atómica con llama, son métodos de espectrofotometría óptica atómica, donde se convierten elementos presentes en una muestra en átomos o iones elementales en estado gaseoso todo esto por medio de la atomización.

1.15 SOFTWARE ESTADÍSTICO

Con la finalidad de seleccionar aquella extracción que más se adecuó a las necesidades de una industria, se decidió realizar un análisis de varianza para la selección del pigmento que obtuvo el mayor rendimiento y concentración de colorante, esto aplicando un software estadístico XLSTAT, la cual presentaba un intervalo de confianza del 95%, comparaciones múltiples por pares y la utilización de REGWQ.

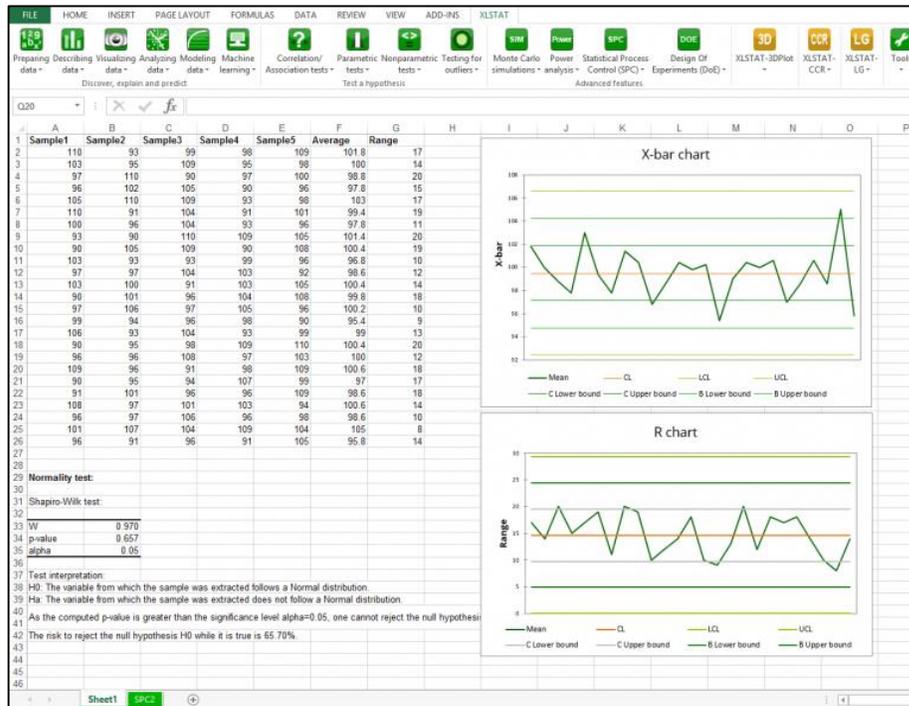
El programa informático XLSTAT, es un software para análisis estadísticos como se aprecia en la siguiente figura, el cual ha funcionado desde 1993, siendo potente, versátil asequible y fácil de usar, además posee cerca de 100.000 usuarios en más de 100 países. Funciona como un complemento integrado de MSExcel®

⁷⁹ UNIVERSIDAD DE ALICANTE. Espectroscopia de emisión y absorción atómica. En: UNIVERSIDAD DE ALICANTE. [sitio web]. p 11. [Consulta: 27 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>

⁸⁰ MAÑAY. Op. cit. p. 87

permitiendo resultados viables a altas velocidades, su ficha técnica se encuentra en el Anexo A ⁸¹.

Imagen 19. Salida del software estadístico XLSTAT.



Fuente: ADDINSOFT. XLSTAT. [Software para análisis estadísticos]. Requerimientos del sistema: Excel desde la versión 2003 a la versión 2016 y para Mac desde la versión 2011. Disponible descarga en <https://www.xlstat.com/es/>

Las comparaciones múltiples por pares (*multiple pairwise comparison*):

Normalmente implican el cálculo de un valor p para cada par de niveles calculados. El valor p representa el riesgo que asumimos cuando estamos equivocados al establecer que el efecto es estadísticamente significativo. Mientras más alto sea el número de pares que deseamos comparar, mayor será el número de valores p calculados, y consiguientemente el riesgo de detectar efectos significativos que no lo son en realidad. Considerando un nivel de significación alfa del 5%, encontraríamos 5 valores p significativos por azar sobre 100 efectos investigados que no son significativos en realidad. Por consiguiente, las herramientas de comparaciones múltiples por pares implican **correcciones** del valor p: los valores p son penalizados (esto es, aumentados) conforme aumenta su número⁸².

⁸¹ ADDINSOFT. XLSTAT. [software para análisis estadísticos]. Requerimientos del sistema: Excel desde la versión 2003 a la versión 2016 y para Mac desde la versión 2011. Disponible descarga en <https://www.xlstat.com/es/>

⁸² Ibid.

El intervalo de confianza escogido (95%) se da para disminuir la cantidad de datos fuera de los parámetros de la población, usualmente este parámetro se realiza del 95 al 99 %⁸³.

El programa cuenta con diferentes procedimientos como el HSD de Tukey (*Tukey Honest significant difference*), la cual es una de las comparaciones múltiples por pares más utilizadas, junto con la LSD de Fisher, cuenta adicionalmente, con el método Newman-Keuls SNK, pero no es tan confiable como los otros, debido a su característica conservadora Finalmente, se encentra el método REGWQ (*Ryan-Einot-Gabriel-Welsch and Quiot*), el cual es una de la pruebas más fiables⁸⁴, es más robusta que la prueba Tukey y da mayor precisión en las significancias, su valor crítico se basa en la distribución Q⁸⁵.

El programa utiliza letras para demostrar el nivel de significancia estadística, e indica que al presentar letras diferentes en una misma columna se presentan diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias de REGWQ ($P < 0.05$).

⁸³ Minitab@18

⁸⁴ XLSTAT. Op. cit

⁸⁵ OMER. Siraj. [sitio web]. Use of REGWQ multiple comparisons of Qualitative data. párr 2. [Consulta: 14 mayo 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313879992_Use_of_REGWQ_Multiple_Comparisons_of_Qualitative_Data

2. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la identificación y selección del proceso de fabricación de pigmentos y oleorresinas rojas a partir de achiote (*Bixa orellana*) y paprika (*Capsicum Annum*) (respectivamente), se toman como referencia proyectos de grado, artículos de investigación y libros descritos en la bibliografía y se plantea la formulación general de una pintura vinílica.

2.1 EXTRACCIÓN DE PIGMENTO Y OLEORRESINA

Las extracciones que se realizaron a nivel laboratorio, se basaron en búsquedas bibliográficas, así como al desarrollo experimental que se dio en el laboratorio. Allí se mantuvieron las condiciones ambientales debido a que era un factor invariable en las literaturas consultadas. Por lo cual, para este proyecto las condiciones del laboratorio se encontraban a temperatura promedio de 23.5 °C y una humedad relativa de 53.4% Hr.

2.1.1 Extracción colorante a partir de achiote. Con base en la literatura consultada se realizaron 4 extracciones para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*); una con agua, otra con NaOH, una más con KOH y una con aceites vegetales⁸⁶. Siguiendo parámetros que fueran únicos en la bibliografía como:

- Relación cantidad de semilla-volumen solvente 1:3 p/p
- Concentración de solvente álcali de 2%.
- Tiempo de agitación, a 6000 rpm: 45 minutos.
- pH de precipitado⁸⁷: 1.7 a 2.5

En solventes álcali se escogió la metodología de extracción de colorante realizada en el trabajo de grado “Factibilidad técnica e industrial de la extracción de colorante del achiote” por Mosquera, el trabajo de grado “Extracción de colorante de achiote” por Jaramillo Moreno y en el artículo “Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa Orellana*)” de Jorge Devia; (Mosquera, 1989); (Jaramillo, 1992); (Devia, 2002). La relación de agua y aceite fueron de 1:3 p/p debido a que a menores concentraciones de líquido el índice de refracción no era calculable, y a mayores concentraciones de líquido su capacidad colorante disminuía.

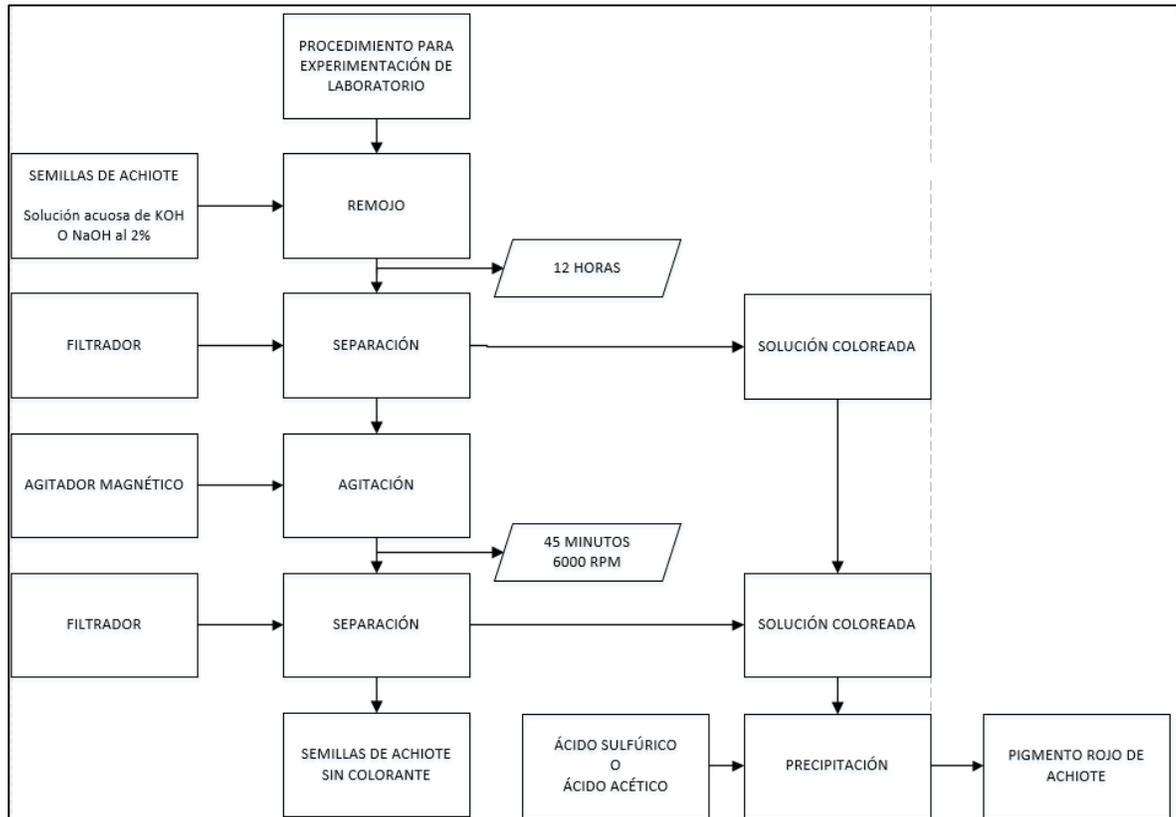
Para realizar el experimento se procedió como sigue en los diagramas:

⁸⁶ JARAMILLO, C y MUÑOZ, O. Extracción de colorante de Achiote. Universidad Nacional, Bogotá - Colombia. 1992.

⁸⁷ REYES, Zoila. Extracción y evaluación del colorante natural de achiote (*Bixa Orellana L.*) como sustituto del colorante E-102 Amarillo No.5 (Tartracina) en la elaboración de un yogurt. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de San Carlos Guatemala, 2015. [Consultado: 13 mayo 2017]. p 38. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1334/>

2.1.1.1 Extracción con álcalis acuosos. En la imagen 20 se observa el proceso de extracción llevado a cabo para el achiote con álcalis acuosos, esta extracción se realizó con Hidróxido de Potasio (KOH) y con el mismo procedimiento para Hidróxido de Sodio ($NaOH$), para precipitar se utilizaron Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) y ácido acético (CH_3COOH), realizando las réplicas correspondientes a cada prueba.

Imagen 20. Diagrama de flujo del proceso extracción pigmento de achiote con álcalis acuosos.



Fuente: elaboración propia

En primer lugar, las semillas secas pasaron a un remojo por 12 horas en un álcali acuoso, que en este caso fue Hidróxido de Sodio e Hidróxido de Potasio, acto seguido, se realizó una separación de las semillas de la solución coloreada donde las semillas se mezclaron con más álcali acuoso para someterlas a agitación y así liberar el pigmento que no se extrajo en las 12 horas anteriores. Posteriormente, esta mezcla se separa de nuevo y las semillas van a tratamiento para desechar mientras la solución coloreada pasa a centrifugación, allí se separan las fases líquidas y el pigmento, a continuación, se desecha el agua residual y se obtiene el pigmento, para así realizar los cálculos de rendimiento y concentración de Bixina y Norbixina en el mismo.

2.1.1.2 Extracción con aceites vegetales. La extracción de pigmento rojo de achiote con aceites vegetales, consistió en calentar el aceite a 40 °C y remojar las semillas con este aceite, pasadas 12 horas, se realizó una separación de semillas y aceite; el aceite fue llevado a centrifugación para separarlo del pigmento y llevarlo a tratamiento para desechar, finalmente, el pigmento es sometido a pruebas para calcular su concentración de Bixina y Norbixina, así como su rendimiento.

Nota: esta prueba se realizó para calcular la concentración de Bixina y Norbixina para efectos académicos, pero dado que la pintura es “al agua” esta opción no se consideró, además los aceites vegetales son de mayor dificultad a la hora de tratarlos como residuos en comparación con el agua y con los álcalis trabajados.

2.1.1.3 Extracción con Agua: en el caso de la extracción con agua se debe realizar una molienda dado que la Norbixina (colorante rojo hidrofílico) se encuentra en el interior de la semilla.

El procedimiento seguido fue similar al de la extracción con aceites, la diferencia principal radica en la molienda, puesto que el componente principal que se desea extraer con cada uno de estos solventes es diferente, en el caso de los aceites la Bixina y en el caso del agua la Norbixina, esto no significa que el otro compuesto no se extraiga, de hecho, se extraen los dos en diferentes cantidades. Este proceso brinda el tratamiento de desechos más ecológico de los métodos anteriormente planteados puesto que los desechos son agua y semillas.

La molienda se realizó con un molino de cuchillas (procesador de alimentos) debido que al realizarla con un molino de tornillo sin fin el resultado es un color más anaranjado que rojo como es apreciable en la imagen 21, por lo cual, para evitar las pérdidas de color debido a las altas temperaturas alcanzadas durante la molienda se ha optado por procesar (y no moler) los frutos secos⁸⁸:

⁸⁸ PLAZA. Op. Cit. p. 89

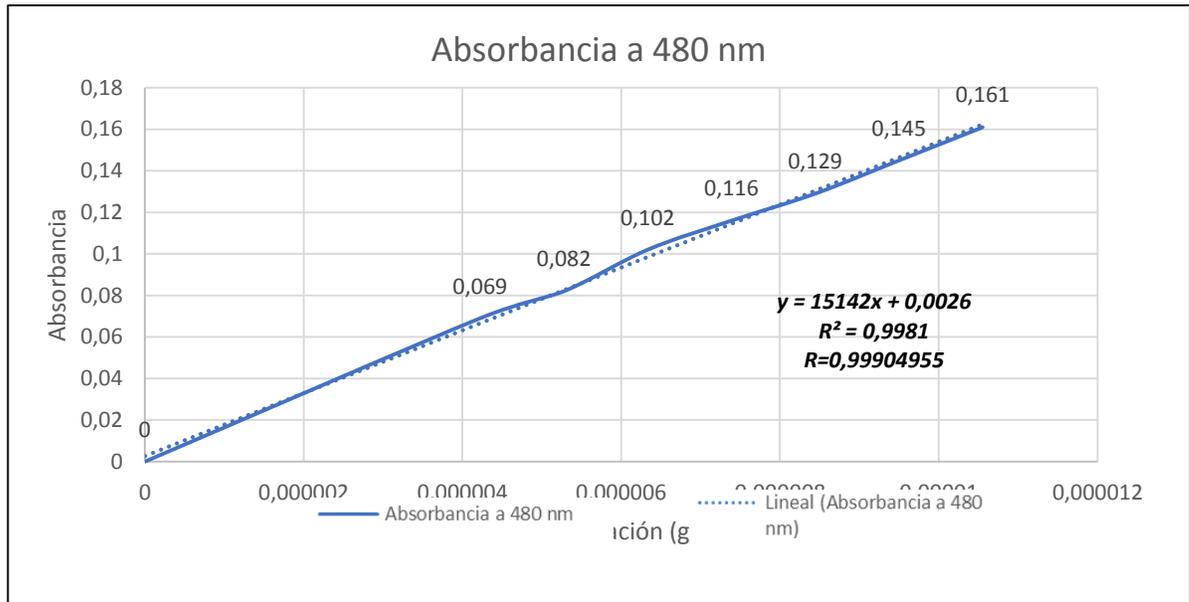
Imagen 21. Diferencia de color con distinto método de molienda. A) Procesador; B) molino



Fuente: elaboración propia

2.1.2 Determinación de concentraciones de Bixina y Norbixina en los pigmentos extraídos de achiote. Para la determinación de la concentración de los componentes pigmentantes del achiote, se realizó la curva patrón expuesta en la gráfica 3, con el fin de hallar la regresión adecuada, partiendo de ella, se procedió a calcular la concentración de estos componentes en los pigmentos extraídos, debido a las mediciones con una muestra patrón se determinó que el máximo en la curva se daba a 480nm tal como lo indica la literatura, al realizar las pruebas en los pigmentos, estos también tuvieron su punto más alto a 480nm, estas lecturas espectrofotométricas se realizaron en el espectrofotómetro *JENWAY 6320D* a 23.5 °C y a una humedad relativa de 53.4% Hr. Es importante destacar que la bixina se lee a 502 nm y la norbixina a 480 nm, por lo que se tiene que en esta semilla seca de achiote el componente principal es la norbixina.

Gráfica 3. Curva patrón Norbixina.



Fuente: elaboración Propia

Después de tener la curva patrón se procedió a preparar las muestras de pigmento como se explica a continuación:

Primero se toma una muestra de un gramo del pigmento a evaluar, se lleva a un aforo de 100 mL con la misma solución o con el mismo solvente con que fue extraído, después una alícuota de 1 mL es aforada de nuevo a 100 mL también con el solvente de extracción, esto se lleva al espectrofotómetro *JENWAY 6320D* a 23.5 °C y una humedad relativa de 53.4% Hr, la absorbancia se reemplaza en la ecuación 1 de la curva patrón y así se obtienen las concentraciones donde “x” es la concentración en g/ml y “y” es la absorbancia leída a 480nm.

Ecuación 1. Determinación de la concentración de Norbixina en los pigmentos

$$y = 15142x + 0,0026$$

Fuente: elaboración propia

2.1.3 Determinación de rendimiento de los pigmentos extraídos de achiote. El rendimiento se da como la cantidad de pigmento extraído con 30 g de semilla molida en procesador, también se realizaron las réplicas correspondientes a cada prueba. Se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Cálculo del rendimiento del pigmento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de pigmento}}{\text{Peso de semillas}} \times 100\%$$

Fuente: elaboración propia

2.1.4 Extracción colorante a partir de paprika. Como se explicó en el capítulo 1, los métodos más eficientes para la extracción de aceites esenciales de paprika son los métodos con fluidos supercríticos y la extracción Soxhlet, debido a la dificultad de trabajar a nivel industrial las presiones y las temperaturas que el método supercrítico exige, se opta por realizar una extracción Soxhlet con acetona ya que debido a las propiedades químicas de la acetona y su relación con la oleorresina el proceso es más eficiente ya que se dan mejores rendimientos y un alto poder de coloración ...Véase numeral 1.10...

Según lo reportado por Jader Martínez Girón en su artículo “Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*Capsicum annum*)”⁸⁹, se denota que la mayor cantidad de grados ASTA (American Spice Trade Association, grados en que se mide la potencia del color de la paprika y la oleorresina de paprika) lo reporta el pimentón freído, comparado con el pimentón fresco y en conserva; según lo expuesto por Cardona, Lopera y compañía en su artículo “Obtención de Oleorresina de Pimentón (*Capsicum Annum*)”⁹⁰, el escaldado mejora el tiempo de secado y también aumenta los grados ASTA. Con estos antecedentes se puede observar que un tratamiento térmico antes de realizar el secado aumenta los grados ASTA, en este caso se evaluaron el pimentón fresco, pimentón con escaldado y pimentón sofrito, los resultados de uno de los estudios nombrados anteriormente se presentan en la Imagen 24.

⁸⁹ MARTÍNEZ. Jader. Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*capsicum annum*) variedad “Nataly”. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad del Cauca, 2015. [Consultado: 14 mayo 2018]. p 25. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/409>

⁹⁰ CARDONA. Op. cit. p. 8

Imagen 22. Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas, color ASTA y carotenoides totales en pimentón rojo procesado¹.

Tratamiento	pH	% Materia Seca	Acidez Titulable ²	Sólidos Solubles	% Cenizas	ASTA	C.T. ³
Fresco	5,033 ±0,111 ^a	11,172 ±0,626 ^c	0,255 ±0,022 ^a	5,29 ±0,145 ^a	0,965 ±0,029 ^a	59,088 ±1,128 ^b	65,934 ±5,797 ^b
Freído	4,795 ±0,048 ^b	19,012 ±0,561 ^b	0,192 ±0,004 ^b	4,954 ±0,137 ^b	0,949 ±0,029 ^a	72,214 ±2,368 ^a	95,464 ±10,134 ^a
Conserva	4,379 ±0,021 ^c	39,656 ±1,364 ^a	0,17 ±0,006 ^b	2,953 ±0,162 ^c	0,847 ±0,017 ^b	55,022 ±1,947 ^c	68,592 ±3,572 ^b

¹ Valores promedio ±DS (n=5)

² Expresados como g ácido cítrico / 100 g de muestra.

³ C.T. (Carotenoides totales), expresados como µg de carotenoides/ g de muestra.

Nivel de significancia estadística: letras diferentes en los superíndices de una misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias de Tukey (P<0,05)

Fuente: MARTÍNEZ. Jader. Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*capsicum annuum*) variedad "Nataly". [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad del Cauca, 2015. [Consultado: 14 mayo 2018]. p 25. Disponible en:

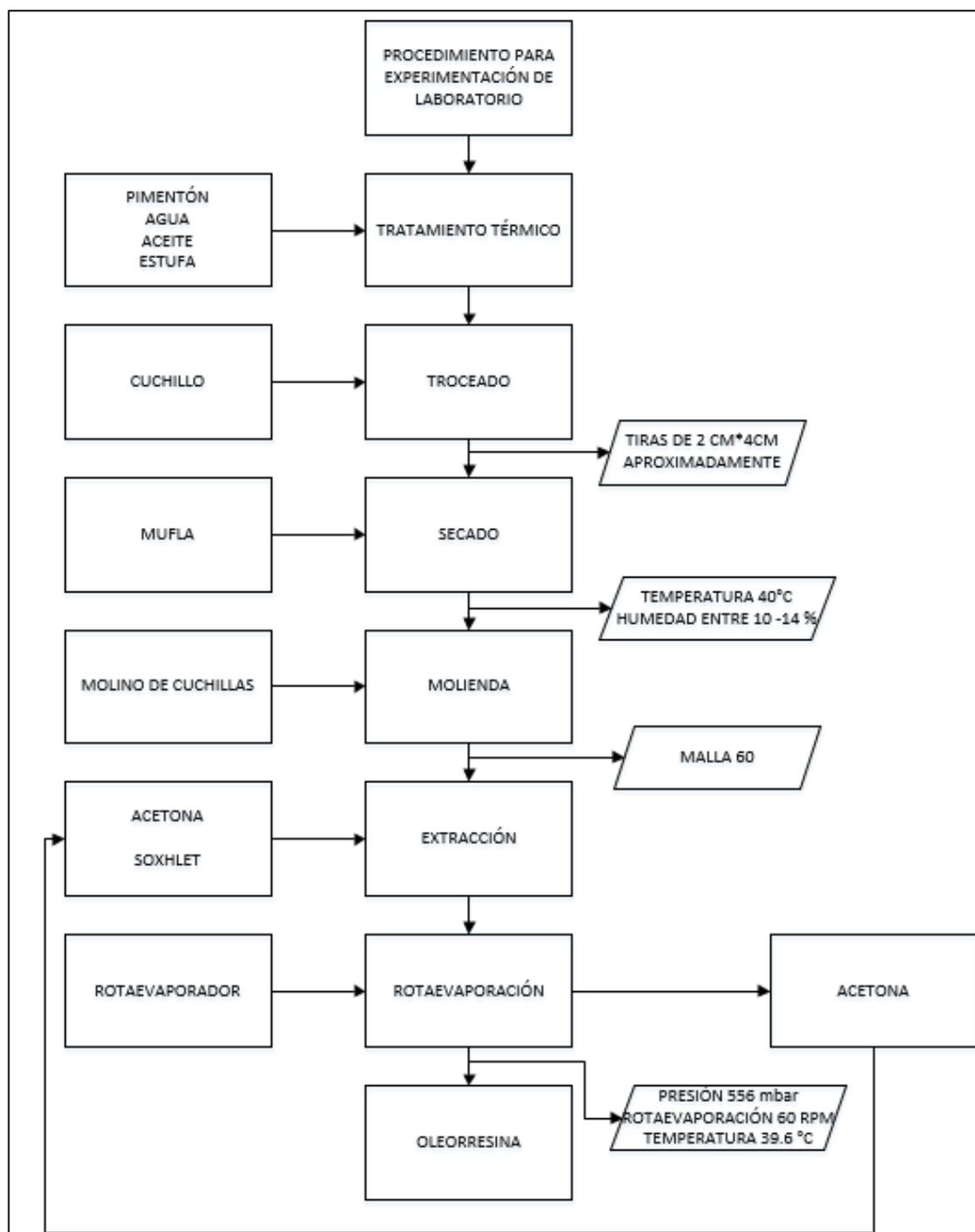
<http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/409>

De los artículos anteriormente señalados se tomaron los siguientes parámetros:

- Pimentón fresco con alto grado de maduración (que su color sea rojo intenso).
- Filtración y concentración con rotaevaporador al vacío con una Temperatura máxima de 40°C.

2.1.4.1 Extracción de oleorresina de paprika con acetona. En la imagen 25 se expone el procedimiento llevado a cabo para la extracción de la oleorresina de paprika a nivel laboratorio, se utilizaron tratamientos térmicos que ayudaron a aumentar el rendimiento y la concentración del color en las muestras.

Imagen 23. Diagrama de flujo para la extracción de la oleorresina



Fuente: elaboración propia

El pimentón previamente lavado se llevó al tratamiento térmico indicado (freído, escaldado, etc.), después se llevó al secado en mufla, luego se esperó a que el

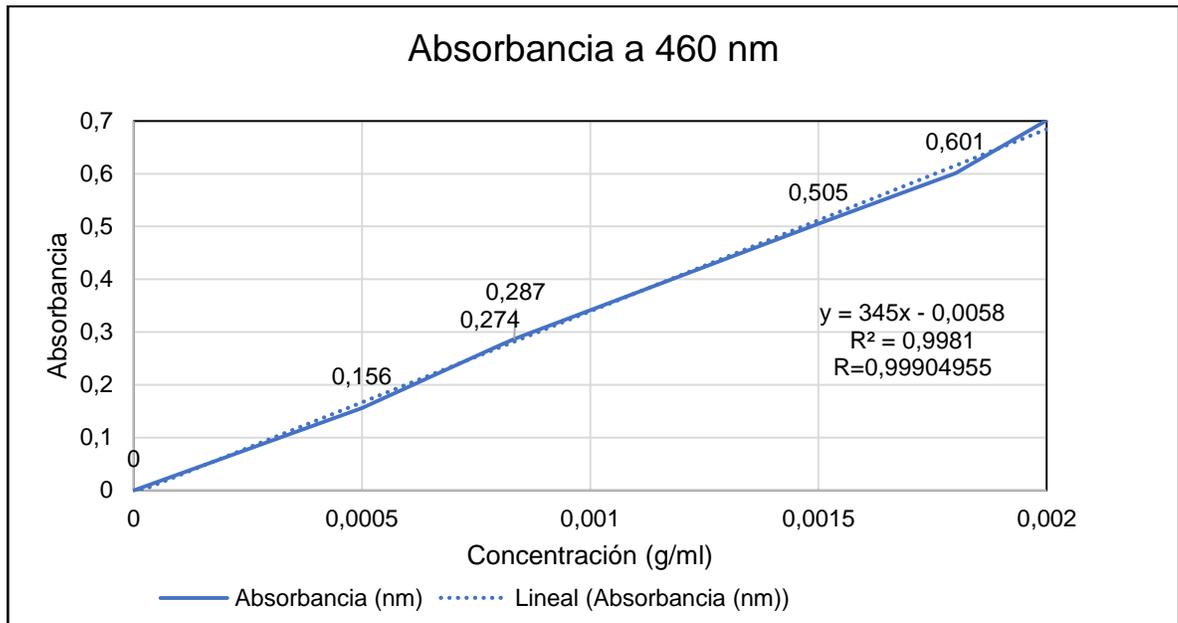
contenido de humedad disminuyera hasta alcanzar entre 10 y 14%, esto debido a que teóricamente es el contenido de humedad que presenta un mayor rendimiento y un color rojo más intenso⁹¹, también se realizó la curva de secado del pimentón calculando la humedad en diferentes tiempos y deteniendo la prueba cuando la humedad permanecía constante. Cuando se tenía una lámina seca se llevó a molienda hasta un tamaño malla 60 y se procedió a realizar la extracción Soxhlet con acetona 99.9% de pureza, después se pasó a el rotaevaporador Heidolph, Hei VAP Precisión, con un vacío de 556 mbar, rotación 60 rpm y temperatura de 39.6 °C, donde se recupera la acetona y se obtiene la oleorresina.

Se decidió realizar una molienda hasta malla 60, debido a la necesidad de tener un tamaño de partícula que permitiera, una penetración rápida de solvente en toda la partícula con una alta transferencia del soluto y que permitiera alcanzar el equilibrio rápidamente, pero teniendo partículas más pequeñas de esta malla se dificultaba la operación al impedir la circulación uniforme del disolvente.

2.1.4.2 Determinación de concentraciones de Capsorrubina y Capsantina en la oleorresina de paprika. Para la determinación de la concentración de los componentes pigmentantes de la paprika se realizó la curva patrón expuesta en la gráfica 4 con el fin de hallar la ecuación que más se adapte a la regresión y partiendo de ella se procedió a calcular la concentración de estos componentes en los pigmentos extraídos, debido a las mediciones con una muestra patrón se determinó que el máximo en la curva se daba a 460 nm tal como lo indica la literatura, al realizar las pruebas en los pigmentos, estos también tuvieron su punto más alto a 460 nm, estas lecturas espectrofotométricas se realizaron en el espectrofotómetro *JENWAY 6320D* a 23.5 °C y con una humedad relativa de 53.4% Hr.

⁹¹ CARDONA. Op. cit. p. 9

Gráfica 4. Curva patrón Capsorrubina y Capsantina.



Fuente: elaboración propia

Después se prepararon las muestras de cada uno de los pigmentos para así hallar su absorbancia de la siguiente manera:

En primer lugar, se toma una muestra de un gramo de la oleoresina a evaluar, se lleva a un aforo de 100 mL con acetona, después una alícuota de 1 mL es aforada de nuevo a 100 mL con acetona, esto se lleva al espectrofotómetro *JENWAY 6320D* a 23.5 °C y una humedad relativa de 53.4% Hr, la absorbancia se remplace en la ecuación 3 de la curva patrón y así se obtienen las concentraciones donde “x” es la concentración en g/mL y “y” es la absorbancia leída a 460 nm.

Ecuación 3. Determinación de concentración de Capsorrubina y Capsantina en los pigmentos extraídos.

$$y = 345x - 0,0058$$

Fuente: elaboración propia

2.1.4.3 Determinación de rendimiento de la oleoresina extraída de paprika. El rendimiento se da como la cantidad de oleoresina extraída con 15 g de pimentón seco y molido, también se realizaron las réplicas correspondientes a cada prueba. Se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Cálculo de rendimiento oleorresina.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso oleorresina}}{\text{Peso de pimentón seco y molido}} \times 100\%$$

Fuente: elaboración propia

2.1.4.4 Determinación de grados ASTA de la oleorresina extraída de paprika. Para seleccionar la mejor alternativa en color, se siguió en Método ASTA-12.1⁹² (American Spices Trade Association), donde se especifica que a mayor grado ASTA, mejor coloración. Las coloraciones esperadas teóricamente oscilan entre 30 y 100 grados ASTA, donde las muestras comerciales pueden presentar desde 52,64 grados hasta 72,5 grados considerada de alta calidad. El índice de corrección instrumental es de 0.254 calculado para el ESPECTROFOTÓMETRO VIS JENWAY 6320D de la serie 3046 a una temperatura ambiente de 23.5 °C y una humedad relativa de 53.4% Hr. Los grados se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Determinación de grados ASTA.

$$\text{Unidades ASTA} = \frac{A_s}{A_{avg}} \times \frac{V}{W_s \times 10^6}$$

Fuente: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. Method 12.1. Draft 4-14-2018. Piperine Content of Black and White Pepper, Their Oleoresins and Soluble Pepper Seasonings. En: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.astaspice.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/PIPERINEMethod-12.1-formula-changes->

A_s = Absorbancia de la muestra

A_{avg} = Promedio de absorbancias estándar, cada una normalizada a $1 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}$

V = volumen de disolución, mL

W_s = Peso de la muestra, g

La anterior ecuación simplificada es expresada como:

⁹² AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. Method 12.1. Draft 4-14-2018. Piperine Content of Black and White Pepper, Their Oleoresins and Soluble Pepper Seasonings. En: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.astaspice.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/PIPERINEMethod-12.1-formula-changes-04-14-18-final.pdf>

Ecuación 6. Simplificación fórmula determinación de grados ASTA

$$Unidades\ ASTA = \frac{A_{(460)} \times 16,4 \times I_f}{W_s}$$

Fuente: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. Method 12.1. Draft 4-14-2018. Piperine Content of Black and White Pepper, Their Oleoresins and Soluble Pepper Seasonings. En: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.astaspice.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/PIPERINEMethod-12.1-formula-changes->

$A_{(460)}$ = Absorbancia del extracto a 460 nm

I_f = Índice de corrección instrumental

W_s = Peso de la muestra en gramos

3. SELECCIÓN DE PIGMENTOS

En este capítulo, se selecciona el método de extracción del pigmento de achiote que presentó mayores rendimientos y concentraciones de Norbixina; en el caso de la paprika también se escogen aquellos que brinden mayores rendimientos y concentraciones de Capsaicina; posteriormente, se analiza la mojabilidad o toma de aceite de cada uno de ellos, para definir cuáles cumplen con las características para ser consideradas pigmentos en pinturas a base agua.

Como criterios de selección en este capítulo se tienen el rendimiento y la concentración, donde el rendimiento es la cantidad de colorante producido por una cantidad definida de materia prima empleada, el resultado se da en porcentaje. La concentración es la cantidad de compuesto pigmentante que se encuentra en las muestras extraídas en el laboratorio partiendo de una curva patrón.

3.1 SELECCIÓN DE PIGMENTO

3.1.1 Selección de la extracción del pigmento de achiote. Debido a la información encontrada en la bibliografía, se obtuvieron diferentes formas de extraer el pigmento de achiote, se realizaron seis extracciones desiguales con el fin de seleccionar la que brindara mayor concentración de colorante y mayor rendimiento.

Los tratamientos a seguir fueron:

T1: extracción con agua.

T2: extracción KOH + Ácido acético.

T3: extracción KOH + Ácido sulfúrico.

T4: extracción NaOH + Ácido acético.

T5: extracción NaOH + Ácido sulfúrico.

T6: extracción aceites vegetales.

Empleando el software estadístico XLSTAT, se obtienen los resultados mostrados en las tablas 3 y 4, realizando una comparación por pares (REGWQ) con un intervalo de confianza del 95 % para concentración y rendimiento con los diferentes tratamientos anteriormente especificados, los resultados numéricos de estas pruebas se presentan en el anexo B. Los resultados en las tablas se ordenan en forma descendente desde los más provechosos para el proyecto a los menos partiendo de los resultados estadísticos:

Tabla 3. Concentraciones para el colorante de achiote.

Categoría	Medias (Concentración * 10 ⁻⁶)	Grupos
T1	2,846	A
T2	2,512	B
T3	2,482	B
T6	2,344	B

Tabla 3. (Continuación)
Concentraciones para el colorante de achiote

T5	2,257	B	
T4	1,888		C

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

En la tabla 3, se presenta la diferencia dada con los tratamientos empleados donde se tiene que A es el más satisfactorio, B es aceptable, C es insuficiente y D es deficiente, cuando los tratamientos se encuentran en grupos diferentes (A, B, C y D) es señal que se generó una diferencia significativa. En este caso el T1 posee mejores resultados de concentración que los demás; los T2, T3, T5 y T6 presentan resultados sin diferencias significativas intermedias y el T4 presenta bajas concentraciones posicionándose en el grupo C. En las tablas resultantes los resultados son ordenados en orden descendente desde el tratamiento más provechoso hasta el menos según los resultados estadísticos.

Tabla 4. Rendimiento con diferentes métodos extracción achiote.

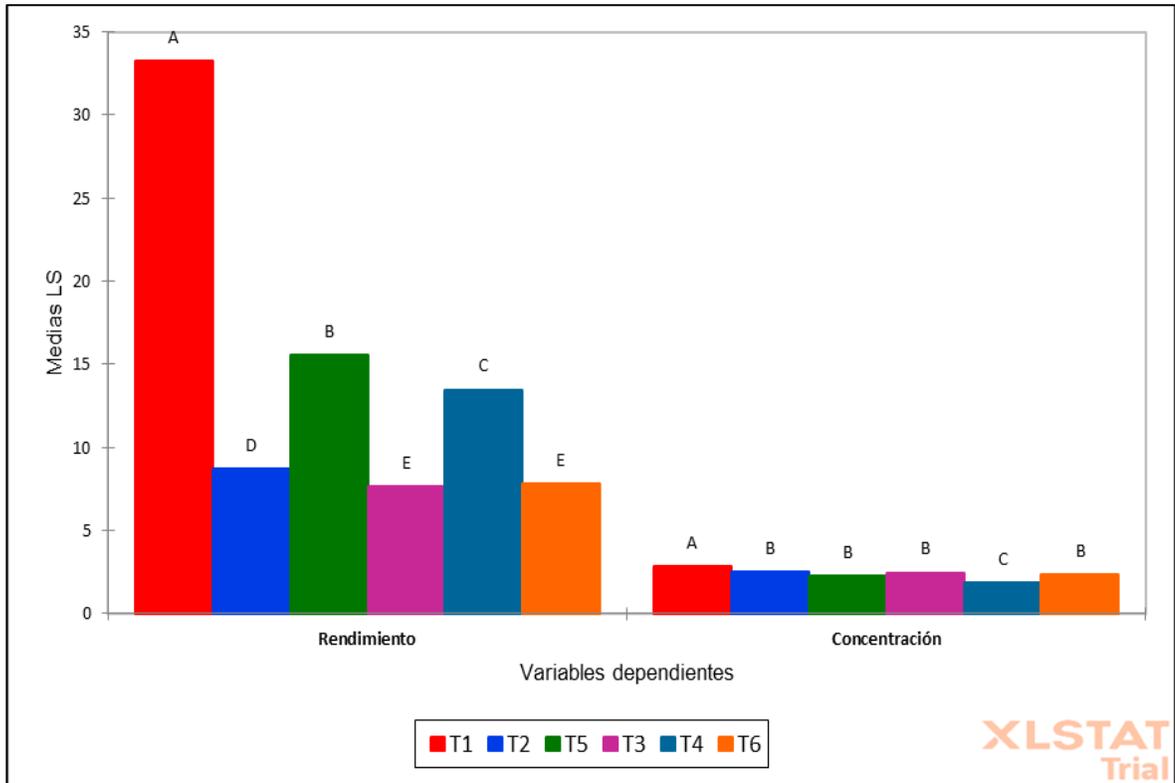
Categoría	Medias LS(Rendimiento %)	Grupos			
T1	33,272	A			
T5	15,534		B		
T4	13,478			C	
T2	8,720				D
T6	7,810				E
T3	7,646				E

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

En la tabla 4, se presenta la diferencia que se da con los diferentes tratamientos, donde el primer tratamiento genera los mejores rendimientos posicionándose en el grupo A, seguido por el T5 presentando una diferencia significativa quedando en el grupo B, el T4 se ubica en el grupo C, el T2 en el grupo D y finalmente el T6 y T3 no presentan diferencia significativa entre ellos encontrándose en el grupo E. Con estos datos se puede apreciar que el rendimiento más alto lo da el tratamiento 1.

Partiendo de los datos anteriores se realiza la gráfica 5, en la que se muestra la comparación en rendimiento y concentración para los diferentes tratamientos, el programa XLSTAT genera las barras en orden de conveniencia según el intervalo de confianza.

Gráfica 5. Rendimiento y concentración diferentes métodos extracción achiote.



Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Debido al resultado estadístico se puede afirmar que el T1 (extracción con agua) da mejores resultados que los demás tratamientos respecto a rendimiento y concentración, factores que influyen directamente en el costo del producto final siendo por esta razón escogido como extracción principal para este pigmento, los resultados de las pruebas están disponibles en el ANEXO B y C.

Para realizar una extracción con agua más acertada, se procede a realizarla con diferentes tamaños de partícula, considerándose malla 10, 20, 40 y 60; además de eso, se liberó la Norbixina por 24 horas (12 horas más que en el procedimiento anterior) esto con el fin de obtener mayor cantidad.

- T1: tamiz malla 10
- T2: tamiz malla 20
- T3: tamiz malla 40
- T4: tamiz malla 60

Los resultados estadísticos con el software XLSTAT, se presentan en las tablas 6 y 7, realizando una comparación por pares (REGWQ) con un intervalo de confianza del 95 % para concentración y rendimiento con los diferentes tratamientos

anteriormente especificados. Las tablas son ordenadas en forma descendente desde el resultado más provechoso para el proyecto hasta el menos productivo:

Tabla 5. Concentraciones para el colorante de achiote con diferentes tamices.

Categoría	Medias LS(Concentración)	Grupos	
T3	4,204	A	
T2	2,235		B
T4	2,216		B
T1	2,084		C

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Para la concentración con los diferentes tratamientos (Tabla 5) se encuentra que el T3 presenta diferencias significativas con el T2 y con el T4 y aún más con el T1. De esta forma se asegura que el T3 presenta mayor concentración que los demás tratamientos de forma significativa, siendo el único ubicado en el grupo A.

Tabla 6. Rendimiento de diferentes tamices extracción achiote.

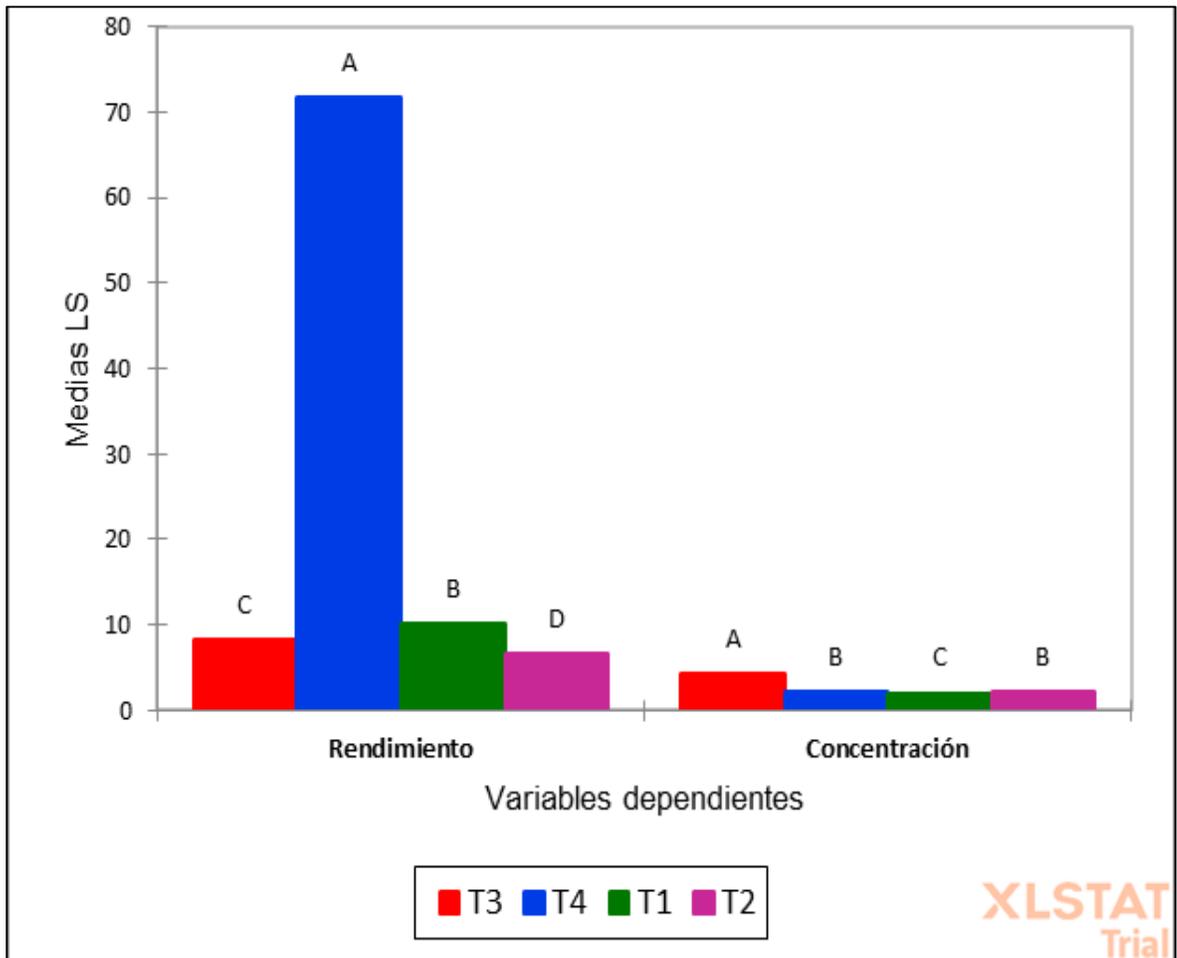
Categoría	Medias LS(Rendimiento %)	Grupos		
T4	71,764	A		
T1	10,076		B	
T3	8,317			C
T2	6,712			D

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Respecto al rendimiento (Tabla 6), la extracción de pigmento de achiote con agua presentó diferencias significativas para todos los tratamientos realizados siendo el mejor el tratamiento T4, seguido por el T1, luego el T3 y finalmente el T2.

Con los resultados de los análisis anteriores se obtiene la gráfica 6, en la que el programa anteriormente nombrado brinda la comparación entre las concentraciones y rendimientos de los tratamientos, organizando las barras desde la más conveniente estadísticamente hasta la menos conveniente (de izquierda a derecha), los resultados de estas pruebas se encuentran en el ANEXO D y E.

Gráfica 6. Rendimiento y concentración diferentes tamices para extracción de achiote con agua

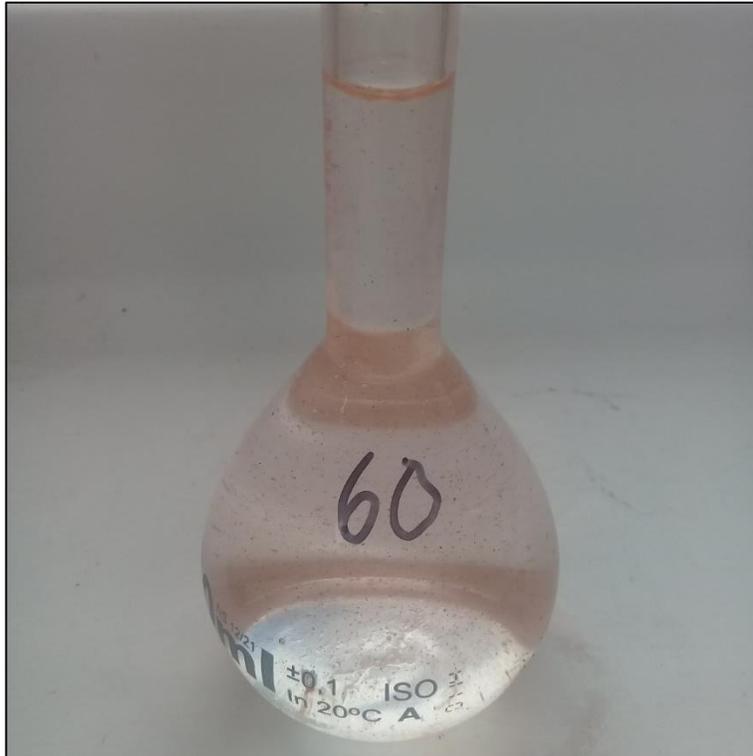


Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Observando la gráfica 6, se podría decir que debido a que el T4 presenta un rendimiento muy superior a los demás tratamientos se escogería, sin embargo, esto no ocurre teniendo en cuenta que el proceso de filtración a nivel laboratorio fue más complejo respecto a los demás tratamientos, por lo cual, la filtración no logró el rendimiento esperado, adicionalmente, las semillas quedaron en el pigmento, haciendo de este un pigmento no viable en la industria, por lo que se descartan los resultados producidos con el T4. Se puede apreciar así que el tratamiento 3 (tamiz 40) presenta las mejores condiciones de rendimiento y concentración frente a las diferentes mallas, además, un tamaño de partícula más pequeño (como el tamiz 60) hace que la separación necesaria sea más robusta como se observó en el laboratorio, ya que al realizar la extracción, se presentaban partículas suspendidas como se aprecia en la imagen 24. Por lo tanto, se decide que la extracción

seleccionada para el pigmento de achiote es la realizada con agua y tamiz 40, correspondiente a un tamaño de partícula de 0.42 mm o 0.0165 pulgadas.

Imagen 24. Partículas suspendidas en muestra de achiote con malla 60.



Fuente: elaboración propia.

3.1.2 Selección de la extracción de la oleoresina de paprika. La extracción de la oleoresina se realizó como se propuso en el capítulo 2, realizando tratamientos térmicos para así aumentar el rendimiento y la concentración de pigmento disminuyendo los tiempos de secado y la temperatura del mismo como se aprecia en los siguientes tratamientos:

- T1: pimentón fresco
- T2: pimentón escaldado
- T3: pimentón freído
- T4: pimentón freído en tiras

Empleando el software estadístico XLSTAT, se obtienen los resultados mostrados en las tablas 7, 8 y 9, realizando una comparación por pares (REGWQ) con un intervalo de confianza del 95 % para concentración, rendimiento y grados ASTA con los diferentes tratamientos anteriormente descritos. Los resultados en la Tabla 7 se

presentan el orden descendente desde el tratamiento más eficaz para el proyecto hasta el menos conveniente.

Tabla 7. Concentraciones para el colorante de paprika.

Categoría	Medias LS(Concentración g /L)	Grupos
T2	0,004	A
T1	0,002	B
T4	0,002	B
T3	0,001	B

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

En la tabla 7, se aprecia que solo el tratamiento 2 presenta una diferencia significativa respecto a los demás tratamientos, además esa diferencia es positiva, lo que indica que posee mejores valores de concentración que los demás tratamientos, posicionándose así en el grupo A.

Tabla 8. Rendimiento diferentes métodos extracción paprika.

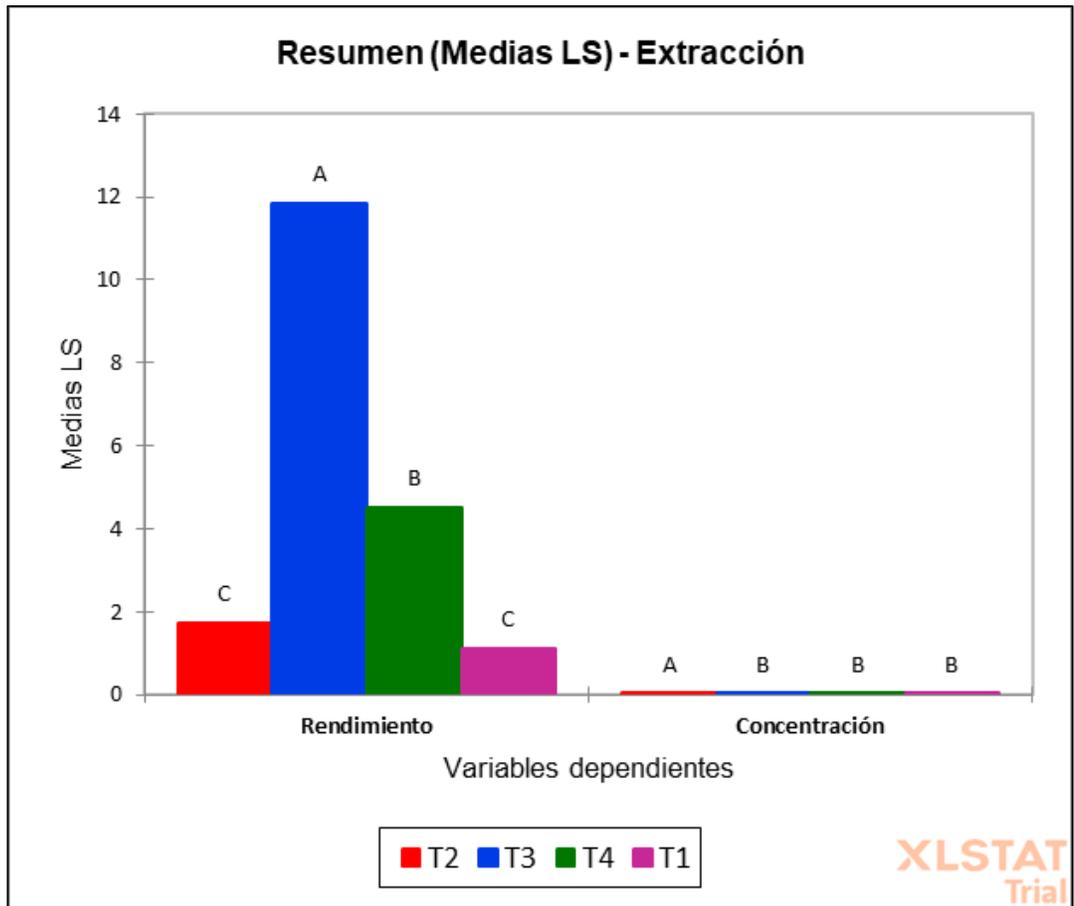
Resumen de las comparaciones por pares para Extracción (REGWQ):		
Categoría	Medias LS(Rendimiento)	Grupos
T3	11,841	A
T4	4,491	B
T2	1,708	C
T1	1,094	C

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

La tabla 8 muestra los rendimientos que se generan con los diferentes tratamientos realizados en orden descendente del más provechoso para el proyecto al menos beneficioso, siendo que el T3 presenta diferencias significativas posicionándose en el grupo A, en el grupo B se encuentra el T4, y los otros dos tratamientos se encuentran en el grupo C presentando diferencias significativas. Es importante también ver que el rendimiento promedio que se presenta con el tratamiento 3 correspondiente al 11.84 % es alto en comparación a los demás, también que es mayor que los reportados en la literatura expuesta en el capítulo 1 del presente proyecto.

Con los datos anteriormente expuestos, se genera la gráfica 7, donde el programa con una significancia del 95% ordena del más al menos recomendado (de izquierda a derecha) teniendo en cuenta tanto el rendimiento como la concentración.

Gráfica 7. Rendimiento y concentración de paprika con diferentes tratamientos térmicos.



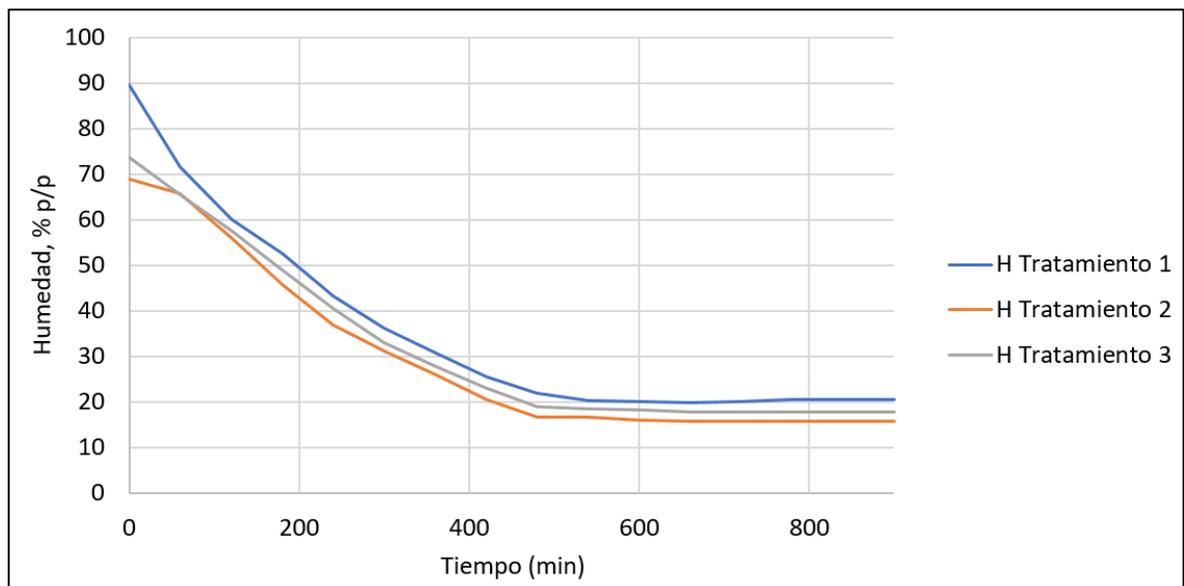
Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Al realizar la extracción de la oleorresina con pimentón sofreído (T3) es claro que el rendimiento es mayor que los demás, pero la concentración no lo es, esto se debe a que en la extracción de la oleorresina quedan trazas de aceite en el pimentón haciendo que lo primero que se extrae con el método soxhlet sea el aceite de cocina y no la oleorresina, es por esto que este tratamiento presenta la más baja de las concentraciones y hace que el resultado de rendimiento de esta extracción sea excluido para decidir el tratamiento a utilizar. Por lo tanto, es el T2 (pimentón escaldado) es el que brinda las condiciones de extracción óptimas para la oleorresina de paprika generando altas concentraciones y rendimientos comparados con los demás tratamientos como se observa en la gráfica, los resultados de estas pruebas se encuentran en los anexos F y G. Que sean los

tratamientos térmicos los que generen mejores resultados se debe a que se disminuye el tiempo de secado y así mismo la humedad relativa de entrada a la mufla.

El pimentón fresco que presentó aproximadamente un 89% de humedad relativa se separó de tal manera que se dejó una cuarta parte fresco, y las otras partes se sometieron a los tratamientos térmicos explicados, las tiras de pimentón presentaron el mismo comportamiento que el tratamiento 3 puesto que al secado todos entraron como tiras y la molienda a malla 60 se realizó después del secado, llegando en el caso de tratamiento 3 a una humedad relativa de 73% aproximadamente y en el tratamiento 2 a una humedad de 69% aproximadamente, la curva de secado a 30 °C se presenta a continuación en la gráfica 6. Las condiciones de secado fueron forzadas a 30 °C por aproximadamente 10 horas debido a restricciones en el laboratorio con la Mufla Nabertherm P330; pero teniendo en cuenta diferentes autores el secado se puede realizar hasta los 70°C donde todavía no se degradan los carotenoides del pimentón.

Gráfica 8. Curva de secado del pimentón.



Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la gráfica número 8, la humedad final aproximada de las muestras fue de 21% para el tratamiento 1; 16% para el tratamiento 3 y 18% para el tratamiento 2, lo que demuestra que con los tratamientos térmicos se puede disminuir aún más la humedad de la materia prima, a pesar de esto, los tres se encontraron entre los límites establecidos por la literatura (entre 14 y 21%), además, los tiempos de secado variaron siendo de 11 horas para el tratamiento 2, 12 horas para el tratamiento 3 y 14 horas para el tratamiento 1, lo que indica que los

tratamientos térmicos también disminuyen el tiempo de secado, los resultados se presentan en el Anexo H.

Como se menciona en el apartado 2.1.4 del presente proyecto, los grados ASTA se calculan con la finalidad de medir la potencia del color de la paprika, debido a que estos grados son dependientes de la concentración de pigmento en la muestra, no se consideran como un punto a evaluar entre las diferentes extracciones realizadas, pero si como parámetro de comparación de la oleorresina extraída con las normas internacionales que establecen que una oleorresina considerada de alta calidad cuenta con unos grados ASTA superiores a 52.64 grados. Así, como se muestra en la tabla 10, para el tratamiento 2 la media es de 64 grados, lo que internacionalmente la hace una oleorresina de alta calidad.

Tabla 9. Grados ASTA diferentes métodos extracción paprika.

Resumen de las comparaciones por pares para Extracción (REGWQ):		
Categoría	Medias LS(Grados ASTA)	Grupos
T2	64	A
T1	33,4	B
T4	28,9	B
T3	17,2	B

Fuente: elaboración propia, con base en el programa XLSTAT.

Se evidencia que los pre-tratamientos térmicos ayudaron en todas las extracciones, esto se debió que al reducir la humedad de un pigmento, el tiempo de secado disminuye e impide la degradación de los carotenoides, pero la mayor cantidad de grados ASTA lo obtuvo el pimentón escaldado debido al poco contacto que tiene con la solución caliente, generando así la posibilidad de manejar temperaturas inferiores y así no degradar los carotenoides presentes en el pimentón concentrándolos en la muestra empleada.

3.1.3 Propiedad de mojabilidad o toma de aceite de los colorantes extraídos. Como se menciona en el apartado 1.1.2.1, los pigmentos deben tener la propiedad de mojabilidad o toma de aceite, esto debido a que en esta se determina la capacidad del pigmento de cubrir las superficies o soportes. La prueba realizada consiste en agregar los pigmentos en pintura comercial sin color y distinguir al extenderse el tipo de traza que genera sobre el sólido.

Debido a la naturaleza de los pigmentos, se utilizó una pintura al agua para el pigmento de achiote y una pintura al aceite para la oleorresina de paprika, cabe anotar, que si el pigmento es adicionado al final de la formulación éste debe ser soluble en la pintura realizada, por el contrario, si el pigmento es adicionado en las etapas iniciales o intermedias, éste debe ser insoluble en el vehículo.

Esta prueba se realizó en MDF y triplex, que son el soporte escogido para la evaluación de la pintura a formular, en el cuadro 4 se pueden ver los resultados de esta prueba, apreciando que el pigmento de achiote presenta esta propiedad, generando una capa homogénea tanto en el MDF como en el triplex; característica que no logra observarse con el pigmento de la oleoresina de paprika, debido a que ésta no cubre el soporte de MDF y en el triplex la capa que forma no es homogénea.

Cuadro 6. Mojabilidad de los pigmentos extraídos.

Pigmento	MDF	TRIPLEX
Achiote		
Paprika		

Fuente: elaboración propia.

Partiendo de las imágenes suministradas en el cuadro 6, se decide realizar las formulaciones de pintura sólo con el pigmento de achiote, esto debido a que la paprika no presenta las condiciones mínimas necesarias para ser considerada un pigmento en pinturas.

4. COMPARACIÓN DE TRES FORMULACIONES DE PINTURA FRENTE A UNA COMERCIAL

En este capítulo se realizaron las pinturas vinílicas y se analizaron sus formulaciones, se aplicaron en los soportes y se realizó la comparación con la pintura comercial con criterios como el grado de adherencia, el color obtenido como cobertura en un juguete de madera y el grado de inflamabilidad.

Como se explicó en el capítulo 1, las maderas más utilizadas para juguetes son: MDF, triplex, pino y perillo; por la necesidad de preservar los árboles autóctonos, este proyecto solo trató MDF y triplex.

4.1 FORMULACIONES DE PINTURA VINÍLICA

Según se mencionó en el primer capítulo ... Véase tabla 1. Numeral 1.1.1 ... el tipo de pintura más adecuada para el proyecto realizado es la pintura vinílica por ser característica para decoración, además presenta los siguientes beneficios:

- Secado rápido.
- Solubles en agua.
- Resistentes al agua.
- Cambio de tono al secar.
- Fácil aplicación.
- Limpieza sencilla.
- Olor suave.
- No inflamables.
- Menores afectaciones al medio ambiente comparada con una pintura al aceite.
- Los pigmentos a utilizar deben ser insolubles en el vehículo, característica que cumple el pigmento de achiote.
- Es fácilmente retirada de las manos con agua y jabón.
- Propicia para niños.

Las pinturas se elaboran agregando los componentes a un mezclador, teniendo como proceso general: el agregado del vehículo, después el pigmento y por último las adiciones, generando así la pintura vinílica.

4.2 FORMULACIÓN

Con los resultados obtenidos en el capítulo anterior se decide utilizar como colorante el achiote, cada componente tiene una función específica en la pintura, a continuación, se describirá la función principal de cada uno:

- Vehículo volátil: vehículo que se evapora y favorece el secado de la pintura, es el disolvente.

- Dispersante: facilita la dispersión de ciertas partículas que están en suspensión en el solvente.
- Espesante: ayuda a aumentar la viscosidad de la pintura.
- Neutralizante: es la sustancia que ayuda a nivelar las cargas positivas y negativas del medio en el que se encuentra.
- Extender: aumenta el tiempo de evaporación del disolvente haciendo a la pintura manejable durante más tiempo.
- Pigmento: es el encargado de brindar el color, la tonalidad y la opacidad a la pintura, también determina el poder cubriente que presenta, así como la estabilidad del color.
- Carga: aporta volumen a la mezcla, la compacta, le da peso y opacidad, también ayuda a cerrar los poros.
- Antiespumante: para evitar la aparición de espuma en la producción y en la aplicación, impide fraccionamiento de la película.
- Estabilizador: amortiguan las interacciones entre los ingredientes de la pintura.
- Bactericida: impide la formación de colonias en la pintura aumentando el tiempo de vida útil.
- Coalescente o aglutinantes: es el “pegamento” de la pintura, ayuda a la formación de la película incluso en condiciones como baja temperatura y alta humedad.
- Vehículo fijo o ligante: sirve como soporte de los demás componentes y de él dependen las cualidades de la pintura y el tiempo de secado.
- Emulsificante: es el encargado de mezclar componentes que comúnmente no son solubles entre sí.

En la tabla 10, se muestran los componentes para realizar las formulaciones de pintura vinílica obtenidas de diferentes fuentes; las fuentes consultadas fueron variadas y la selección de estas tres se realizaron porque eran vinílicas, tenían en su fórmula pigmentos naturales, no contenían ningún compuesto mineral o metálico, además de esto era posible su utilización en madera y eran tipo A. El pigmento de achiote se mantuvo constante (6.33%) en las tres formulaciones para realizar una comparación respecto a su poder colorante en dicha formulación, esto se ve en la Tabla 10, donde los componentes con fondo azul son los que están presentes en las 3 formulaciones y los amarillos son los que varían. En las tres pinturas realizadas no se cambiaron o modificaron los componentes que indicaban las formulaciones encontradas, esto debido a que el proyecto busca una pintura que sea compatible con el pigmento de achiote y no las propiedades que brindan cada uno de los compuestos al producto final.

Tabla 10. Componentes de las tres diferentes formulaciones

Componente	Función	% F1	%F2	%F3
Agua	Vehículo volátil	62,53	36,94	39,99
Tixotrol	Espesante	1,39	0,53	0,17

Tabla 10. (Continuación)
Componentes de las tres diferentes formulaciones

Trietanolamina	Neutralizante	0,13	0,13	0,07
Achiote	Pigmento	6,33	6,33	6,33
Carbonato de Calcio	Carga	6,33	41,42	26,17
Antiespumante	Antiespumante	0,51	1,06	0,07
Etilenglicol	Estabilizador	0,51	1,58	0,29
Mergal	Bartericida	0,25	0,26	0,07
Varsol	Coalescente	0,51	0,13	0,22
Tripolifosfato	Dispersante	0,13	0	0,07
Dispersante	Dispersante	0,25	0,53	0
Caolín	Extender	3,04	6,33	0
Resina	Vehículo fijo y aglutinante	18,10	0,53	0
Talco industrial	Vehículo fijo y aglutinante	0	4,22	26,17
PVA	Vehículo fijo y aglutinante	0	0	0,07
Nonilfenol	Emulsificante	0	0	0,29

Fuente: elaboración propia

Para las formulaciones 1 y 2 se presenta una diferencia en dos compuestos, el tripolifosfato (presente en la Formulación 1) y el talco industrial (presente en la formulación 2), donde el primero funciona como dispersante y el segundo como aglutinante, en este caso, la segunda formulación sólo contaba con un dispersante, pero en mayor porcentaje que los dispersantes sumados en la formulación uno (0.53% frente a 0.38%) por lo que se esperaba un color más uniforme en la formulación 2. En el caso del aglutinante, se esperaba que la pintura 1 tuviera mejor adherencia que la pintura 2, puesto que su porcentaje es mayor (18.10% frente a 4.75 %).

Comparando las formulaciones 2 y 3 se presentan varias diferencias, algunas que resaltan son: como dispersantes se tienen el tripolifosfato y el dispersante teniendo una mayor concentración del mismo en la segunda formulación (0.07% frente a 0.53%); se esperaba así, que se tuviera una cobertura más uniforme en la formulación 2; además de eso, la formulación 2 cuenta con Caolín como extender, componente con que no cuenta la formulación 3 lo que suponía un rendimiento mayor de la formulación 2 frente a la formulación 3; respecto al aglutinante (resina acrílica) la formulación 3 no presenta resina, pero presenta una mayor cantidad de talco industrial que también funciona como aglutinante pronosticando que la formulación 3 tiene mejor adherencia que la formulación 2; por último, la formulación 3 presenta un emulsificante que ayuda a que las partículas no solubles se disuelvan, en el caso del pigmento de achiote refuerza la dispersión.

Contrastando las formulaciones 1 y 3, se ve que la pintura 1 cuenta con mayor dispersante generando así un color más uniforme, pero al presentar un emulsificante la formulación 3, ayuda a que este efecto sea contrarrestado con colores uniformes en las dos formulaciones, la formulación 1 presenta menos aglutinante que la formulación 3 señalando que presenta menor adherencia; la formulación 1 tiene también el extender componente que no presenta la formulación 3. La formulación 3 también cuenta con PVA, un aglutinante más fuerte que el talco industrial que la hace más adhesiva que las otras 2 formulaciones.

4.3 ELABORACIÓN

Para la elaboración de una pintura se tienen factores clave como el orden de mezclado, las revoluciones de la flecha y especialmente la velocidad periférica; la fórmula para calcular la velocidad periférica es⁹³:

Ecuación 7. Velocidad periférica.

$$v = \pi \times d \times n$$

Fuente: INPRA. Latina. [sitio web]. Todo en pinturas y recubrimientos. Mezcla y dispersión, procesos complementarios. 2010. párr 20. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en:
<https://www.inpralatina.com/201009151975/articulos/pinturas-y-recubrimientos/mezcla-y-dispersion-procesos-complementarios.html>

Donde:

v = Velocidad periférica (m/s)

d = Diámetro del disco en metros.

n = Revoluciones de la flecha en rps

Las condiciones de elaboración para las tres formulaciones fueron las mismas, diámetro de disco de 30 mm debido a que la pintura fue elaborada en recipientes plásticos de 1 kg y este tipo de disco abarcaba la superficie necesaria y no alcanzaba a chocar con la boquilla, haciendo que no se presentara migración de

⁹³ INPRA. Latina. [sitio web]. Todo en pinturas y recubrimientos. Mezcla y dispersión, procesos complementarios. 2010. párr 20. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201009151975/articulos/pinturas-y-recubrimientos/mezcla-y-dispersion-procesos-complementarios.html>

plástico a la pintura y permitiendo así un mezclado homogéneo y a una temperatura ambiente promedio de 19.1 °C debido a que a nivel industrial las pinturas se elaboran a temperatura ambiente.

También, se tienen 2 velocidades de flecha: una para mezclado constante (190 rps) y una superior para mezclado de componentes viscosos o insolubles (265 rps)⁹⁴. Los tiempos de mezclado y el orden de adición son parte de las formulaciones ya establecidas por cada una de las fuentes.

4.3.1 Formulación 1⁹⁵. Para esta formulación se agregan el agua y el Tripolifosfato a 190 rps, se aumentan las revoluciones a 265 rps y se agrega el 30% de tixotrol, cuando se haya incorporado se reducen las revoluciones a 190 rps y se agregan la trietanolamina, el dispersante, el caolín el pigmento las cargas la mitad del antiespumante y el propilenglicol, se deja en agitación constante durante 20 minutos para así lograr la dispersión. Pasado este tiempo se agregan el meral y el varsol, se aumentan las revoluciones a 265 rps y se agrega el 70% de tixotrol restante, cuando está incorporada se disminuyen a 190 rps y se adiciona el antiespumante faltante y la resina, se deja en agitación constante durante 15 minutos, la adición del pigmento en esta formulación se aprecia en la imagen 25.

Imagen 25. Adición del pigmento en la formulación 1.



Fuente: elaboración propia

⁹⁴ INPRA. Op. Cit. párr. 20.

⁹⁵ COATING INVENTIONS. DIY Pintura profesional para emprendedores. 2014. [video]. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=-O0u4H2EXZk>

4.3.2 Formulación 2⁹⁶. En la formulación 2 se agregan a 190 rps el agua, el 50 % de antiespumante, el etilenglicol y el dispersante; el achiote, el carbonato de calcio y el talco industrial se agregan a 265 rps y el caolín a 190 rps, se agita constantemente durante 25 minutos; se agregan después el varsol, el mergal, se aumentan las revoluciones a 265 rps y se agrega la resina, la trietanolamina y el tixotrol, se disminuyen las revoluciones a 190 rps y se agrega el antiespumante restante, se mantiene en constante agitación durante 15 minutos, la adición del pigmento en esta formulación se aprecia en la imagen 26.

Imagen 26. Adición de pigmento en formulación 2.



Fuente: elaboración propia

4.3.3 Formulación 3⁹⁷. En esta formulación se agrega una tercera parte del agua con tixotrol y trietanolamina a 265 rps hasta que se incorporen (2 a 3 minutos), después se deja reposar 2 horas, a 190 rps se le agrega otra tercera parte de agua, el tripolifosfato y el antiespumante, se agita durante 10 minutos contantemente; se agregan a 265 rps el agua restante, el talco industrial y el carbonato, cuando se incorporan (2 a 3 minutos) se disminuyen las revoluciones a 190 rps y se agrega el PVA, el pigmento, el mergal, el etilenglicol, el varsol y el nonilfenol, se mantiene en

⁹⁶ INGENIERÍA QUÍMICA.ORG. [sitio web]. Diferencias entre químicos para pinturas a base de agua. 2014. párr. 4. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.org/foros/diferencias-entre-quimicos-para-pintura-?page=1>

⁹⁷ UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. [sitio web]. Colombia: UNAD. Pinturas. Breve descripción de los componentes de una pintura. 2015. párr 15. [Consulta: 06 mayo 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/SicarlosMolina/pinturas-50195104>

agitación constante durante 20 minutos, la adición del pigmento en esta formulación se aprecia en la imagen 27.

Imagen 27. Adición del pigmento en formulación 3.



Fuente: elaboración propia

4.4 PRUEBAS FÍSICAS.

Después de realizar las tres pinturas, se procedió a realizar las pruebas físicas en soportes MDF y Triplex, cada uno de los soportes con dos capas de pintura se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Fotos de soportes pintados.

FORMULACIÓN	MDF	TRIPLEX
1		

Cuadro 7. (Continuación)
Fotos de soportes pintados



Fuente: elaboración propia

Para las pruebas físicas se tuvieron en cuenta varios factores: La densidad, la viscosidad, el pH, el grado de adherencia, el color obtenido y su utilización en un juguete y la inflamabilidad.

4.4.1 Densidad: la densidad es uno de los factores principales a medir en una pintura dado que esto ayuda a que las formulaciones que se realizan sean fiables y puedan reproducirse, es un parámetro rápido y fácil de medir que brinda un buen sistema de control.

Para el cálculo de la densidad se toman condiciones de temperatura y humedad relativa constantes, (22.5 °C y una humedad relativa de 53.4% Hr), se sigue la norma UNE 48098 que establece el procedimiento para la medición de densidad en pinturas, donde se tiene la siguiente ecuación⁹⁸:

Ecuación 8. Cálculo densidad de pintura.

$$\delta = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times \delta_{agua}$$

Fuente: NAVARRO. Tamara. Efecto del ligado sobre madera de *Pinus radiata D. Don* en los niveles de consumo de barnices. En: Universidad Austral de Chile. 2007. [sitio web]. Chile. [Consulta: 19 mayo 2019]. Archivo PDF. p 26. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifn322e/doc/fifn322e.pdf>

Donde:

M₀: masa de picnómetro

M₁: masa del picnómetro + agua destilada

M₂: masa del picnómetro + Pintura

$\delta = g/cm^3$

δ_{agua} : densidad del agua a la temperatura de ensayo: 22,5 °C

La densidad del agua a la temperatura de ensayo es tomada de tablas normalizadas (Ver tabla 11).

Tabla 11. Densidades absolutas del agua [g/cm³]

Temperatura (°C)	Densidad [g/cm ³]
15	0.999099
16	0.998943
17	0.998744
18	0.998595
19	0.998405
20	0.998203
21	0.997992
22	0.99777

⁹⁸ NAVARRO. Tamara. Efecto del ligado sobre madera de *Pinus radiata D. Don* en los niveles de consumo de barnices. En: Universidad Austral de Chile. 2007. [sitio web]. Chile. [Consulta: 19 mayo 2019]. Archivo PDF. p 26. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifn322e/doc/fifn322e.pdf>

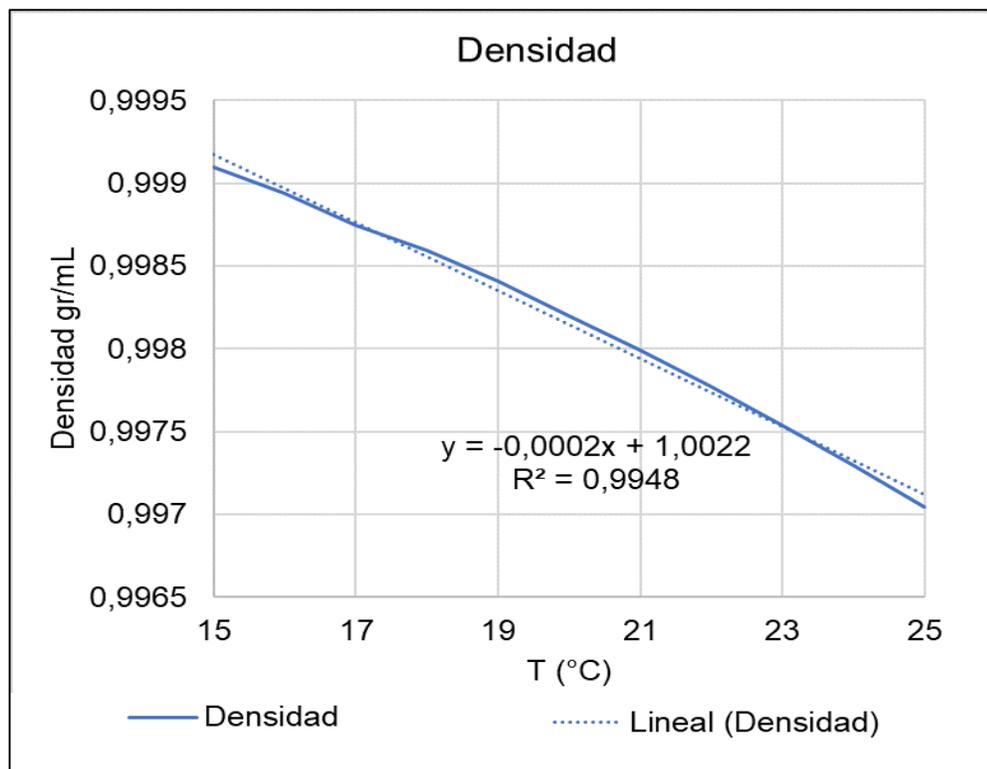
Tabla 11. (Continuación)
 Densidades absolutas del agua [g/cm³]

23	0.997538
24	0.9972969
25	0.997044

Fuente: NAVARRO. Tamara. Efecto del ligado sobre madera de *Pinus radiata* D. Don en los niveles de consumo de barnices. En: Universidad Austral de Chile. 2007. [sitio web]. Chile. [Consulta: 19 mayo 2019]. Archivo PDF. p 26. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifn322e/doc/fifn322e.pdf>

Debido a que la temperatura ambiental es de 22.5°C y no se encuentra específicamente en la tabla 5, se decide realizar una regresión con temperaturas de 22 y 23 °C señaladas en el cuadro anterior para así encontrar el valor exacto a la temperatura trabajada, esta regresión se muestra en la gráfica 9, donde y es la densidad del agua en g/mL y x es la temperatura en °C.

Gráfica 9. Densidad normalizada del agua.



Fuente: elaboración propia

La regresión que se ajustaba a los datos normalizados es una regresión lineal y con la ecuación generada se toma que la densidad para el agua a 22.5 °C es de 0.9977 g/cm³.

4.4.2 Viscosidad: es un parámetro primordial en la elaboración y aplicación de pinturas, este parámetro está íntimamente relacionado con la aplicación con brocha, rodillo y pistola; del modo de empleo va a depender la viscosidad, las pinturas empacadas deben tener una viscosidad superior a 130 KU y se deben diluir si se desean aplicar con pistola; una pintura muy espesa tendrá problemas para fluir haciendo que la pintura salpique y se pierda producto, en el caso de estar muy diluida su poder de cubrimiento va a disminuir haciendo que se deban aplicar demasiadas capas afectando así el proceso⁹⁹.

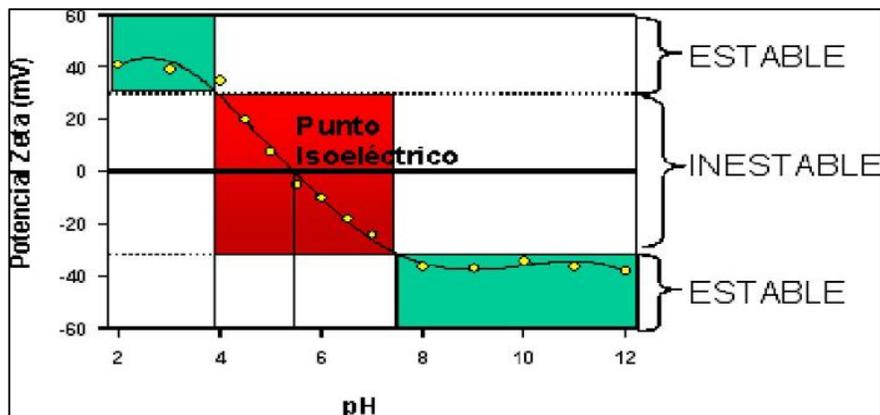
Debido a limitaciones en laboratorio (falta de viscosímetro), se realizó la prueba con esferas de acero inoxidable y su velocidad de caída a cierta altura.

4.4.3 Acidez¹⁰⁰: el pH es uno de los factores que puede llegar a desestabilizar el proceso en la elaboración de una pintura puesto que la disminución de la magnitud de este parámetro afecta a los aditivos disminuyendo la adherencia, se presenta baja calidad de color y textura y pueden llegar a generarse caldos de cultivo. De manera general las dispersiones presentan buena estabilidad con pH superiores a 7.5 como se aprecia en la imagen 28.

⁹⁹ IMAZ COLOR. [sitio web]. Manual de mantenimiento industrial. Aplicación. Viscosidad de la pintura. párr 8. 2019. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <http://imazcolor.com/viscosidad-de-la-pintura/>

¹⁰⁰ CHIRE. Manuel y CHUPAYO. Oscar. [sitio web]. INPRA. Importancia del balance de pH en pinturas acuosas. párr 8. 2017. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201705086918/articulos/pinturas-y-recubrimientos/importancia-del-balance-de-ph-en-pinturas-acuosas.htm>

Imagen 28. pH que favorece la dispersión en pinturas acuosas.



Fuente: CHIRE. Manuel y CHUPAYO. Oscar. [sitio web]. INPRA. Importancia del balance de pH en pinturas acuosas. párr 8. 2017. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.inpralatin.com/201705086918/articulos/pinturas-y-recubrimientos/importancia-del-balance-de-ph-en-pinturas-acuosas.htm>

4.4.4 Grado de adherencia¹⁰¹: mide la adherencia que presenta una pintura al soporte en el que se aplica para así asegurar que la pintura se adhiere al soporte sin generar descamación, de lo contrario no puede ser dirigida a la población infantil debido al riesgo de asfixia que se presenta.

4.4.5 Color: el color que presenta cada una de las formulaciones se toma como clave al momento de elegir debido a que se espera llegar a un tono que sea lo más parecido con un color que se utilice en la industria de juguetes de madera, a causa de no presentarse estudios del achiote como colorante en este tipo de formulaciones, no se puede establecer una muestra patrón para color. Se decide realizar las pruebas físicas con una muestra de vinilo blanco que cuenta con toda la normativa para juguetes, no se le adiciona pigmento puesto que este variaría todas las condiciones de la misma y ya no sería posible una comparación directa.

Imagen 29. Materiales para realizar la comparación física.



Fuente: elaboración propia

¹⁰¹ NEURTEK. 2019 [sitio web]. Medidor de adherencia. párr 6. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/medidor-adherencia-pintura>

4.4.6 Inflamabilidad¹⁰²: los juguetes no pueden constituir un peligro para un infante, por esto no pueden ser inflamables y deben cumplir con las siguientes características:

- No arder si se exponen directamente a una llama, una chispa u otra posible fuente de fuego
- No se inflaman con facilidad, es decir, la llama se apaga cuando la fuente de ignición es retirada
- Si el juguete arde, debe ser lo más lentamente posible y la velocidad de llama va disminuyendo.
- El proceso de combustión debe retrasarse mecánicamente sin importar la composición química del mismo.

4.4.7 Tiempo de secado libre al tacto: es el tiempo que tarda en evaporarse el solvente y dar una apariencia en el soporte de haber secado, cuando se puede tocar la pintura sin manchar la mano es por eso que se conoce como “secado al tacto”¹⁰³.

4.4.8 Secado total: es el tiempo que tarda la pintura en estar completamente seca, incluso sus capas internas, generando así la mayor adherencia, en este caso la pintura ya se ha endurecido y puede utilizarse el soporte como el juguete o el mueble.

4.4.9 Rendimiento (a 2 manos): el rendimiento es la cantidad de pintura en gramos (g) para pintar una superficie en longitud² (cm^2 , m^2 , etc.), este parámetro es importante a la hora de calcular costos y comparar así pinturas que posean características similares, en este proyecto se pintaron 4 cuadrados de 5 * 5 cm^2 con cada una de las formulaciones y la muestra comercial.

4.5 NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS FÍSICAS

Norma UNE- EN ISO 2811-1 ¹⁰⁴: pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 1: Método del picnómetro: Se debe emplear un picnómetro de Gay-Lussac, primero se pesa el picnómetro vacío y seco, después se pesa con agua destilada y se pesa con la pintura a evaluar, antes de agregar cada sustancia debe lavarse y secarse; también se tiene la densidad del agua a la temperatura a la cual se esté realizando el ensayo, esto para tener una precisión mayor y así se utiliza la ecuación 8 (explicada con antelación).

¹⁰² COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Resolución número 3388 de 2008 (08, septiembre, 2008). Op. cit. p 30.

¹⁰³ PINTO MI CASA. [sitio web]. Secado al tacto, secado entre manos y secado total de la pintura. párr 4. [Consulta: 06 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.pintomicasa.com/2016/10/secado-al-tacto-secado-entre-manos-y-secado-total-de-la-pintura.html>

¹⁰⁴ ESPAÑA. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE PINTURAS Y TINTAS DE IMPRIMIR. Norma UNE-EN ISO 2811-1: 2016 (08, junio, 2016). Por la cual se expide el reglamento técnico sobre la determinación de la densidad de pinturas y barnices y se dictan otras disposiciones. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: Boletín informativo BINA. 4 p. Disponible en: <https://www.asefapi.es/files/BINA-72.pdf>

Norma D-3359 ASTM¹⁰⁵: métodos de prueba estándar para medir la adhesión por ensayo de cintas. Después de estar seca y curada la pintura se utiliza el método A (Cruz de Evans).

Se realizan dos líneas de 2 cm cada una (en forma de cruz sobre el material con ángulo entre 35 y 45°).

Se limpia.

Se pone la Cinta de 40 ° de fuerza (especial para esta prueba).

Se frota con una goma (para borrar) hasta lograr una gran adherencia.

Dejar de 30 a 50 segundos.

Criterios de aceptación de la prueba:

5 A - Ninguna remoción a lo largo de las incisiones.

4 A - Remoción mínima a lo largo de las incisiones.

3 A - Remoción de 0.8 mm de los lados de las incisiones.

2 A - Remoción de 1.6 mm en los lados de las incisiones.

1A - Remoción de la mayor área de la X.

0 A - Remoción mayor del área.

Norma NTC- EN 71-2¹⁰⁶: seguridad en los juguetes. Parte 2: Inflamabilidad. Se toma el juguete y se enciende con el mechero y se espera a que la llama se apague tan pronto es encendida, si no ocurre esto, el juguete no cumple la resolución 3388 de 2008, artículo 6; la velocidad de la llama debe ser lo más baja posible, si arden deben hacerlo lentamente y con poca velocidad de propagación de la llama.

Norma NTC 598 (ASTM D1640)¹⁰⁷: método de ensayo para la determinación del secado, curado, o de la formación de película de recubrimientos orgánicos. En esta se tienen el tiempo de secado libre: Se toca la superficie hasta que al tocarla ya no deje huella y el tiempo de secado total: Se espera que la capa superior de pintura esté dura.

4.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS FÍSICAS

Los resultados de las pruebas realizadas en los diferentes soportes pintados y en las diferentes formulaciones se encuentran en la Tabla 12; la pintura comercial se

¹⁰⁵ ESPAÑA. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE PINTURAS. Norma ASTM D3359 (02, junio, 2002). Por la cual se designa el método de prueba estándar para medir la adhesión por ensayo de cintas. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: Scribd. 10 p. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/379588413/Norma-Astm-d-3359>

¹⁰⁶ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC- EN 71-2: 2015 (09, diciembre, 2015). Por la cual se expide el reglamento técnico sobre inflamabilidad de pinturas y barnices en juguetes y se dictan otras disposiciones. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: tienda ICONTEC. 10 p. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-EN71-2.pdf>

¹⁰⁷ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 598: 2016 (18, mayo, 2016). Por la cual se expiden los métodos de ensayo para la determinación del secado, curado, o de la formación de películas de recubrimientos orgánicos. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: tienda ICONTEC. 8 p. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC598.pdf>

toma para establecer los parámetros a los que se deseaba llegar con las diferentes formulaciones de pintura únicamente respecto a las características físicas y calidad de la pintura, exceptuando el parámetro de color debido a que comercialmente las pinturas para juguetes con pigmentos naturales no están disponibles (esto es causado porque los pigmentos sintéticos poseen mayor brillo y rendimiento que los pigmentos naturales), de esta forma se busca sólo comparar las propiedades que brinden calidad a la pintura comparándola con una pintura vinílica tipo 1, el color es clave a la hora de seleccionar la formulación más adecuada para el presente proyecto puesto que debe ser un color que pueda ser utilizado en la industria de juguetes.

Tabla 12. Resultados de comparación física entre formulaciones y pintura comercial*.

Propiedad	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Muestra comercial	Norma
Densidad (g/mL)	1.018	1.527	1.444	1.417	UNE-EN ISO 2811-1
Viscosidad (Pa*s)	0.994	1.745	1.864	1.938	N/A
pH	7.70	8.34	8.32	8.21	N/A
Grado de adherencia	MDF: 2A Triplex: 5A	MDF: 3A Triplex: 5A	MDF: 5A Triplex: 5A	MDF: 4A Triplex: 5A	D-3359 ASTM
Color ¹⁰⁸	#d14414-PMS 173	#e8bfba-PMS 692	#efb5a0-PMS 478	N/A	N/A
Inflamabilidad	No constituye un peligro	NTC-EN 71-2			

¹⁰⁸ PANTONE. [sitio web]. Tabla de colores PANTONE. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.logorapid.com/pantone>

Tabla 12. (Continuación)
Resultados de comparación física entre formulaciones y pintura comercial*

Tiempo de secado libre al tacto	MDF: 1 hora y 14 minutos Triplex: 2 horas y 12 minutos	MDF: 1 hora y 26 minutos Triplex: 2 horas y 30 minutos	MDF: 45 minutos Triplex: 30 minutos	MDF: 1 hora y 40 minutos Triplex: 1 hora y 10 minutos	NTC 598 (AST M D1640)
Tiempo de secado total	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas	N/A
Rendimiento (a 2 manos) (g/cm ²)	0.07	0.03	0.01	0.05	N/A

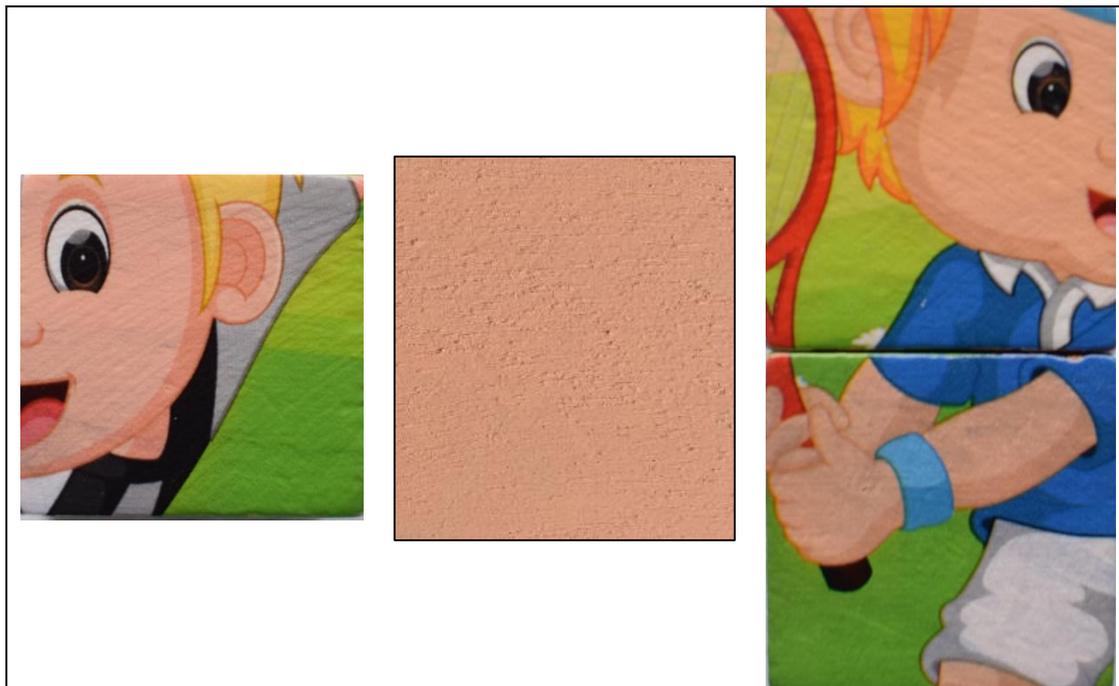
Fuente: elaboración propia.

*En rojo se presentan los parámetros que no se cumplen y en verde los que sí los cumplen.

Como se aprecia en la Tabla 12, el texto en verde representa los parámetros donde las formulaciones realizadas presentan valores iguales o mejores que la muestra comercial y en rojo se denotan los que están por debajo de las características físicas esperadas, en este sentido se demuestra que la formulación más indicada para el presente proyecto es la formulación 3, procediendo así al análisis de color.

En este análisis se debe tener en cuenta que la pintura realizada en el proyecto se utilizó sin aplicación de laca posterior, esto para no afectar las pruebas físicas y químicas, es por esto que la pintura en el juguete luce más brillante; el color fue encontrado en juguetes de madera, especialmente en aquellos que presentaban personas o formas humanas como se aprecia en las siguientes imágenes:

Imagen 30. Color formulación 3 en muestras comerciales.



Fuente: elaboración propia

4.7 PRUEBA QUÍMICA

La prueba química se realizó para la formulación que presentó las mejores características físicas y reológicas que para este caso fue la formulación 3. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio tercerizado M&G S.A.S obteniendo la aprobación basado en la norma UNE-EN 71-3 Seguridad de los juguetes. Parte 3: Migración de ciertos elementos. Estas pruebas se realizaron mediante Espectrofotometría de absorción atómica con un espectrofotómetro de rayos X. Los resultados se presentan en el Anexo R.

5. DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE PINTURA

Debido a la selección del método más apropiado de extracción del pigmento rojo en los capítulos anteriores y la formulación más adecuada de pintura, en este capítulo se establecen los equipos necesarios para el proceso de obtención de 150 Kg de pintura por lote.

Con base en este valor se realizaron los balances de materia necesarios en el proceso desde la captación de las semillas con una humedad relativa menor a 5%; siendo así, los equipos necesarios para este proceso son:

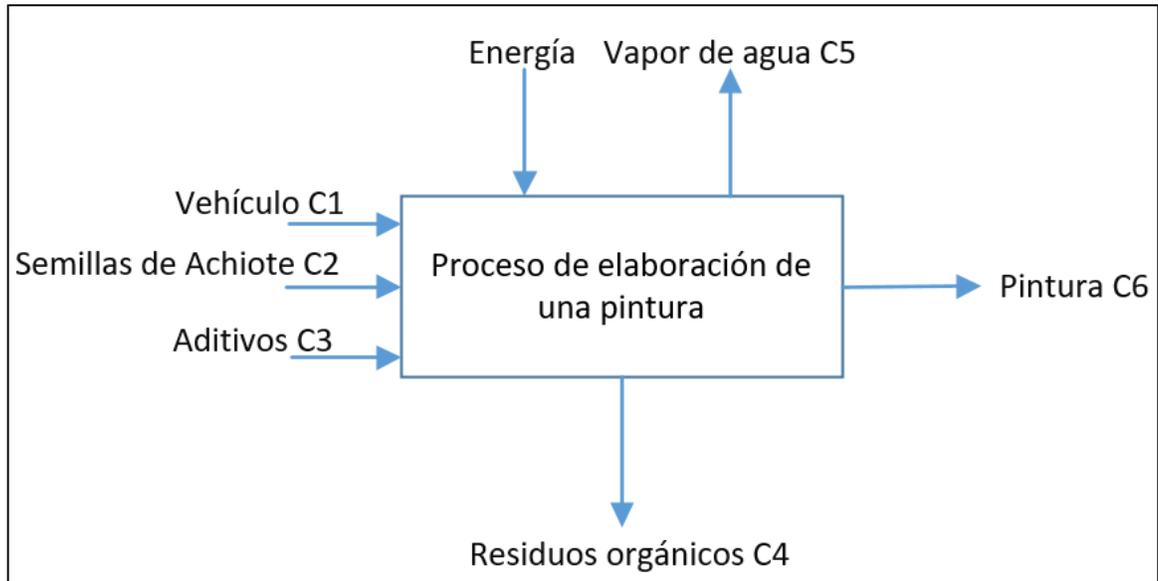
- Tanque agitado con calentamiento.
- Filtro
- Secador atomizador
- Mezclador

5.1 DIAGRAMAS DE PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTO DE ACHIOTE CON AGUA Y SU APLICACIÓN EN PINTURAS

Con los diagramas presentados posteriormente se busca aclarar el proceso de extracción del pigmento de achiote con agua desde un punto de vista más general hasta el más específico, estos diagramas presentan corrientes de entrada y salida y las condiciones de operación del proceso y de cada una de las unidades (y operaciones unitarias) que se presentan.

5.1.1 Diagrama de flujo de entradas y salidas. Este tipo de diagramas son los más básicos que se encuentran, dando una idea global del proceso a realizar, en él solo se tienen las materias primas, las reacciones estequiométricas que se dan en el proceso y los productos que se obtienen del proceso.

Imagen 31. Diagrama de entradas y salidas.



Fuente: elaboración propia

En la imagen 31 se puede observar un ejemplo del diagrama de entradas y salidas, en este caso específicamente se realiza para la producción de pintura vinílica donde el balance de masa global es:

Ecuación 9. Balance de masa global.

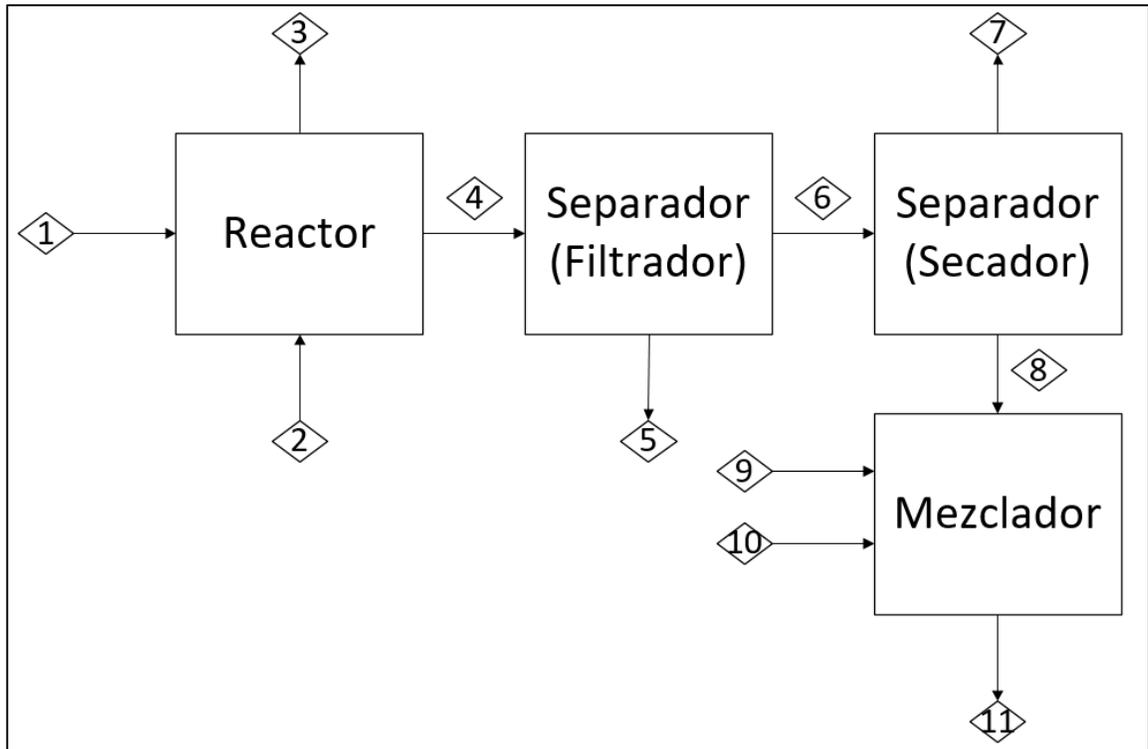
$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6$$

Fuente: elaboración propia

5.1.2 Diagrama de flujo de bloques (BFD). El diagrama de flujo de bloques es un diagrama un poco más complejo que el anterior, por lo tanto, presenta además de las materias primas, la reacción estequiométrica y los productos, las principales unidades de proceso con sus respectivos balances de masa y las especificaciones del desempeño de unidades de proceso.

En la imagen 32 se encuentra el diagrama de bloques para la preparación de la pintura formulada en el presente proyecto, tanto la extracción del pigmento como la pintura son realizadas a temperatura ambiente.

Imagen 32. Diagrama de bloques preparación de pintura.



Fuente: elaboración propia

En el cuadro 8, se presentan los compuestos de las corrientes de la imagen 32.

Cuadro 8. Compuestos de las corrientes del diagrama de bloques (BFD).

Corriente	Compuesto
1	Semillas tamiz 40
2	Agua
3	Vapor de agua
4	Mezcla semillas y agua
5	Residuos orgánicos
6	Solución coloreada
7	Vapor de agua
8	Pigmento seco
9	Vehículos fijos y volátiles
10	Aditivos
11	Pintura vinílica.

Fuente: elaboración propia

Partiendo del diagrama anterior se realiza el balance de masa para cada una de las operaciones unitarias de la planta a escala piloto empezando por el mezclador de pintura con el fin de producir 150 kg/h, para así continuar con el reactor y por último los 2 separadores.

5.1.2.1 Mezclador. En el mezclador primero se realiza el balance de masa de la pintura a fabricar, tomando los porcentajes establecidos en la formulación 3, de esta forma se tienen las corrientes 8, 9 y 10 de la siguiente manera:

Tabla 13. Balance de masa en el mezclador.

Corriente	Componente	Función	%F3	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} Total (Kg/h)
8	Achiote	Pigmento	6,3254	9,4891	9,4891
	Agua	Vehículo volátil	39,9884	59,9885	
9	Talco industrial	Vehículo fijo y aglutinante	26,1742	39,2652	99,3629
	PVA	Vehículo fijo y aglutinante	0,0727		
	Tixotrol	Espesante	0,1745		
	Trietanolamina	Neutralizante	0,0727		
	Carbonato de Calcio	Carga	26,1742		
	Antiespumante	Antiespumante	0,0727		
10	Etilenglicol	Estabilizador	0,2908	0,4363	41,1631
	Mergal	Bartericida	0,0727		
	Varsol	Coalescente	0,2181		
	Tripolifosfato	Dispersante	0,0727		
	Nonilfenol	Emulsificante	0,2908		

Fuente: elaboración propia

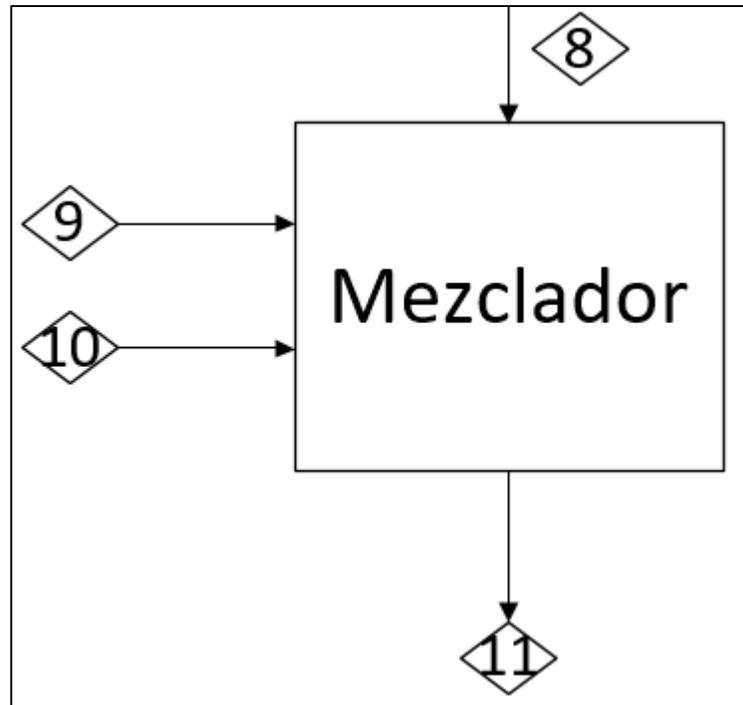
Teniendo los porcentajes de los compuestos de la formulación 3 se pueden reemplazar los valores en la ecuación 10:

Ecuación 10. Balance de masa del mezclador.

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_9 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$$

Fuente: elaboración propia

Imagen 33. Balance de masa del Mezclador



Fuente: elaboración propia

$$\dot{m}_{11} = (150 \times 6.33\%) + (150 \times 66.24\%) + (150 \times 27.44\%)$$

$$\dot{m}_{11} = 150.015 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_8 = 9.495 \text{ kg/h}$$

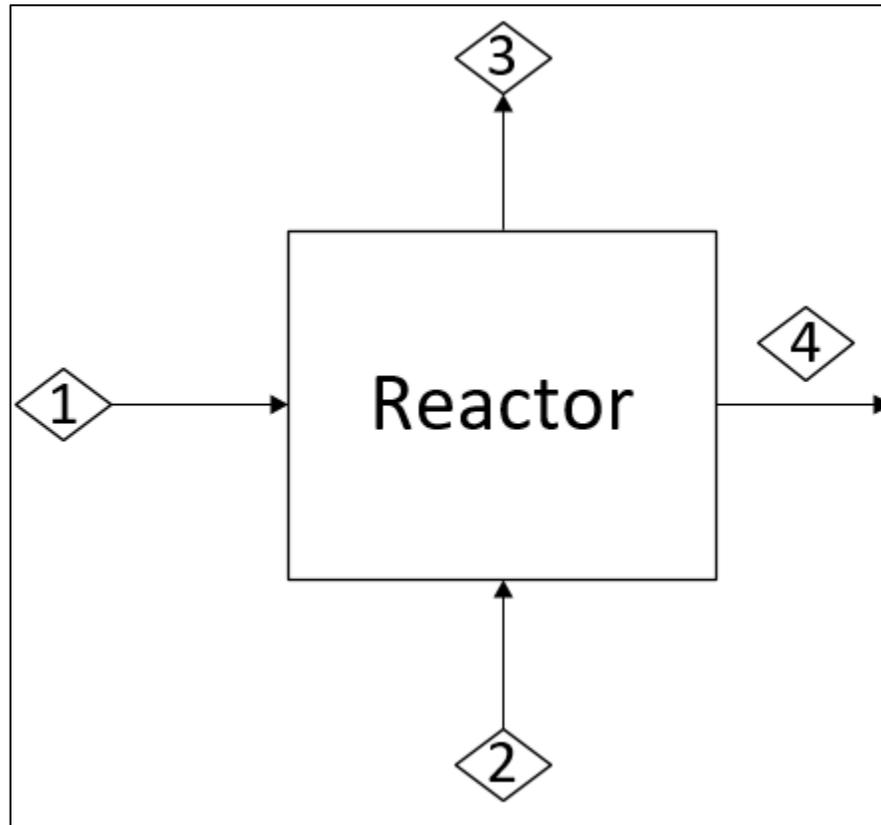
$$\dot{m}_9 = 99.36 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{10} = 41.16 \text{ kg/h}$$

A nivel laboratorio se determinó que el pigmento extraído posee un porcentaje de agua del 4%.

5.1.2.2 Reactor. El reactor es un tanque con calentamiento y agitación constante; con los valores de rendimiento se analizan las unidades del proceso de extracción del pigmento, en la imagen 34 se presenta el diagrama de entradas y salidas en el reactor.

Imagen 34. Balance de masa del reactor.



Fuente: elaboración propia

Ecuación 11. Cálculo del rendimiento para el achiote

$$\frac{\text{Peso de pigmento}}{\text{Peso de semillas tamiz 40}} \times 100\% = \text{Rendimiento}$$

Fuente: elaboración propia

$$\frac{\text{Peso de pigmento}}{\text{Rendimiento}} \times 100\% = \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_1 = \frac{9.495 \text{ kg/h}}{8.33\%} \times 100\% = 113.9856 \text{ kg/h}$$

La relación agua-achiote establecida en el laboratorio fue de 3:1 (respectivamente) así:

$$3\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_2 = 3 \times 113.9856 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = 341.9568 \text{ kg/h}$$

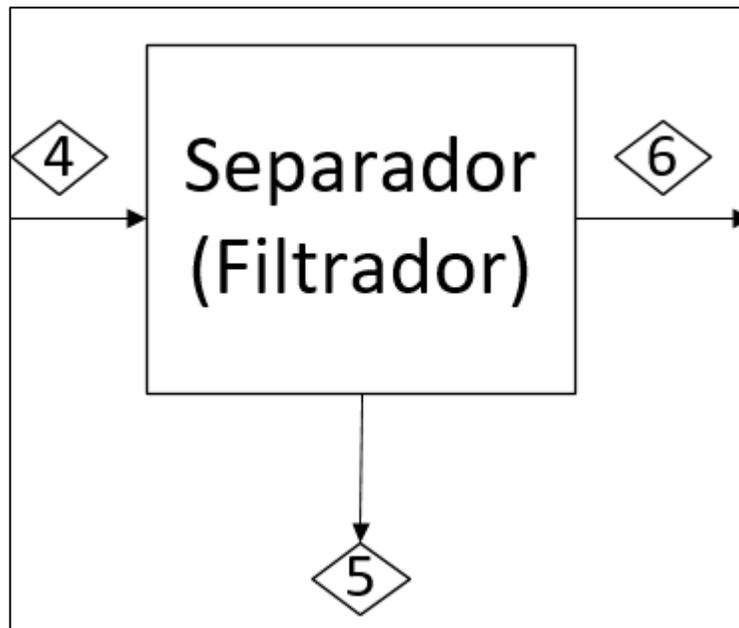
Como se observó en el laboratorio, el agua se evaporó 0.006944 g/min (Anexo J) a una temperatura de 40 °C durante 24 horas, lo que representa un porcentaje de evaporación del 3.703704%.

$$\begin{aligned}\dot{m}_3 &= 3.703704\% \times \dot{m}_2 \\ \dot{m}_3 &= 3.703704\% \times 341.9568 \text{ kg/h} \\ \dot{m}_3 &= 12.66507 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_4 &= \text{Semillas con pigmento liberado} + \text{agua en la corriente} + \text{pigmento } \dot{m}_8 \\ &+ (\dot{m}_2 - \dot{m}_3) + \dot{m}_8 \\ \dot{m}_4 &= (113.9856 - 9.495 + 341.9568 - 12.66507 + 9.495) \text{ kg/h} = 443.2773 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

5.1.2.3 Separador – Filtrador. Partiendo de los datos experimentales, en el proceso de filtrado se pierde aproximadamente el 20 % de agua (Anexo L). A continuación, se presenta el diagrama de entradas y salidas para el filtrador.

Imagen 35. Balance de masa del separador- Filtrador.

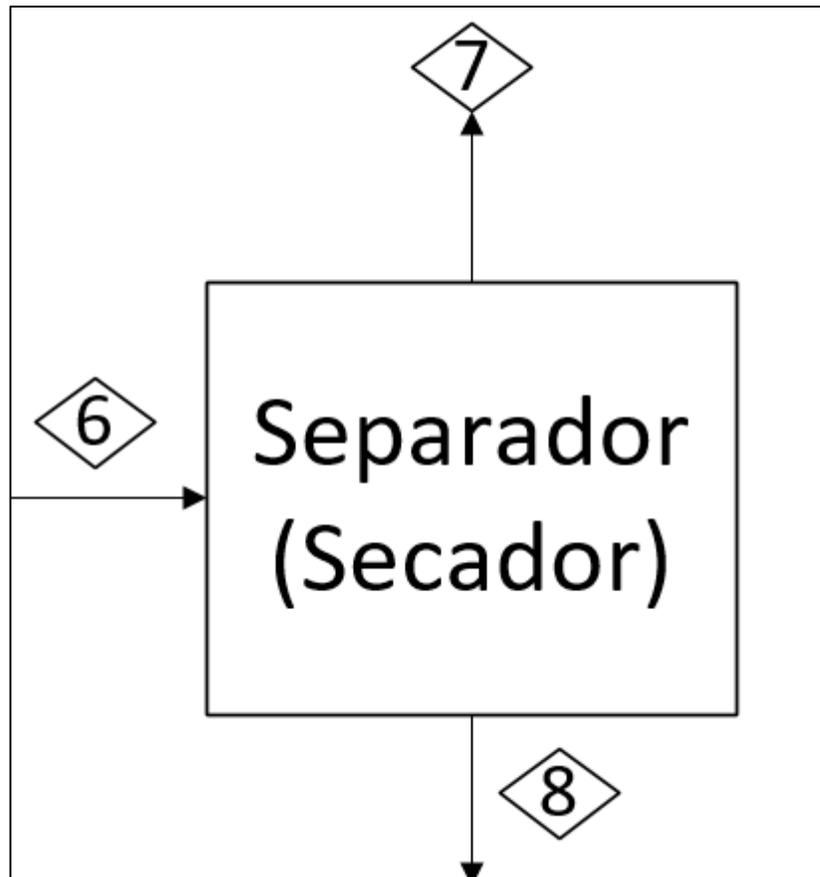


Fuente: elaboración propia

$$\begin{aligned}\dot{m}_5 &= \text{Semillas con pigmento liberado} + \text{agua perdida en filtración} \\ \dot{m}_5 &= \dot{m}_1 - \dot{m}_8 + 0.2 \times (\dot{m}_4 - \dot{m}_1 + \dot{m}_8) \\ &= 113.9856 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 9.495 \text{ kg/h} + 0.2 \times (443.2773 - 113.9856 + 9.495) \text{ kg/h} \\ \dot{m}_5 &= 172.24794 \text{ kg/h} \\ \dot{m}_6 &= \dot{m}_4 - \dot{m}_5 \\ \dot{m}_6 &= (443.2773 - 172.24794) \text{ kg/h} = 271.02936 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

5.1.2.4 Separador. Se realiza un balance de masa con el diagrama de entradas y salidas expuesto en la Imagen 36, partiendo de la Ley de la conservación de la materia de la siguiente manera:

Imagen 36. Balance de masa en el separador- Secador



Fuente: elaboración propia

$$\begin{aligned} \dot{m}_6 &= \dot{m}_7 + \dot{m}_8 \\ \dot{m}_7 &= \dot{m}_6 - \dot{m}_8 = (271.02936 - 9.495) \text{ kg/h} \\ \dot{m}_7 &= 261.53436 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Las cantidades obtenidas en los balances anteriores se realiza la tabla 14, presentado a continuación:

Tabla 14. Compuestos en las corrientes del diagrama de bloques.

Corriente	Compuesto	Cantidad (kg/h)
1	Semillas tamiz 40	113.9856

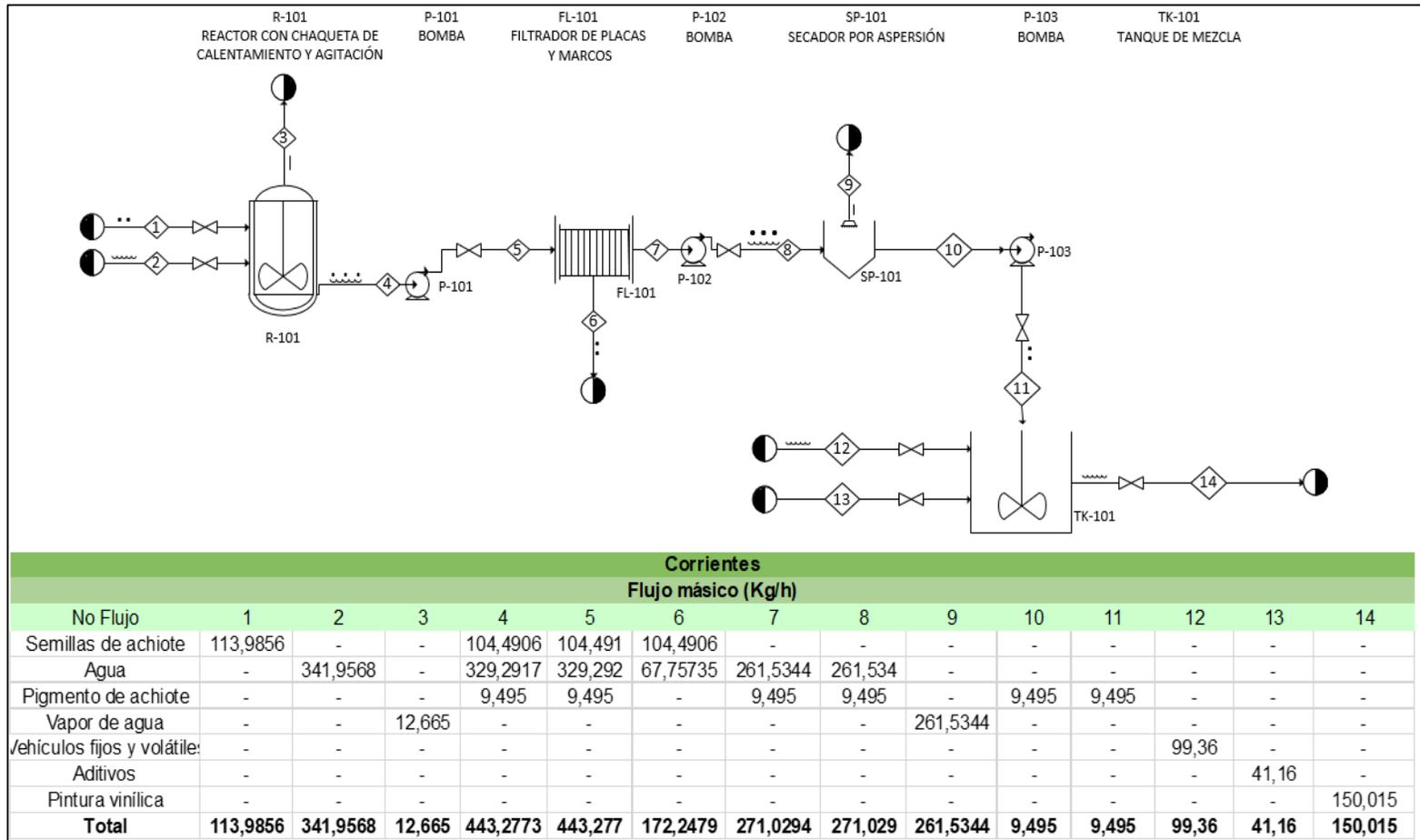
Tabla 14. (Continuación)
Compuestos en las corrientes del diagrama de bloques.

2	Agua	341.9568
3	Vapor de agua	12.66507
4	Mezcla semillas y agua	443.2773
5	Residuos orgánicos	172.2479
6	Solución coloreada	271.0294
7	Vapor de agua	261.5344
8	Pigmento seco	9.495
9	Vehículos fijos y volátiles	99.36
10	Aditivos	41.16
11	Pintura vinílica.	150.015

Fuente: elaboración propia

5.1.3 Diagrama de flujo de proceso. Es un diagrama más completo que los dos anteriores, presentando además de lo mencionado anteriormente las condiciones del proceso (como temperatura y presión) y las especificaciones de los equipos de proceso principales. En la imagen 37, se presenta el diagrama PFD de producción de pintura vinílica.

Imagen 37. Diagrama de flujo de proceso (PFD) producción de pintura vinílica.



Fuente: elaboración propia

5.2 ESPECIFICACIONES DE TUBERÍAS Y EQUIPOS

En el presente proyecto se presenta un proceso por lotes (BATCH), debido a que es más fácil el control del pigmento de esta forma impidiendo así su degradación, además, debido al tiempo de residencia en el reactor se pueden utilizar los demás equipos para otras operaciones como la elaboración de pintura vinílica de otros colores.

5.2.1 Especificaciones de tubería. Las especificaciones de la tubería se toman para una industria de alimentos, esto debido al carácter orgánico del pigmento y su fácil contaminación, además el uso de una tubería inapropiada con lleva a la contaminación de la pintura para juguetes generando violaciones a la resolución 3388 de 2008, por esto el material a utilizar es acero inoxidable 304 austenítico tipo sanitario, pulido interior. Las válvulas se toman de mariposa debido a la facilidad de operación, su alta resistencia mecánica, cambio de sus componentes sin necesidad de desmontar la válvula, presenta reducción de pérdida de carga en posición abierta, es recomendada en situaciones de apertura total de flujo, como es el caso de este proyecto.

Para obtener una velocidad de línea de 0.2621 m/s y llenar así el tanque de calentamiento con agitación en 10 min, se tiene una tubería de 2.5" como diámetro óptimo, además de ser uno de los más comunes haciendo fácil su adquisición, esto también se decide debido a que tuberías de diámetros inferiores pueden ser taponadas con los sólidos presentes en las corrientes, la característica de las tuberías que entran en contacto con el pigmento y la pintura se encuentran a continuación:

Tabla 15. Características de la tubería según norma ASTM-A270, 3ª

Características de la tubería según norma ASTM – A270, 3A		
	pulgadas	mm
Diámetro nominal	2.5	63.5
Diámetro exterior (O.D.)	2.874	73
Diámetro interior (I.D)	2.744	69.7
Espesor de pared (T)	0.065	1.65
	psi	kg/cm ²
Presión a 22 °C	980	68.9
	kg/m	
Peso aproximado	0.80	

Fuente: FAMIQ. Tubos sanitarios austeníticos para la industria Alimenticia y Farmacéutica. 2019. [sitio web]. [Consulta: 28 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: http://www.famiq.com.uy/online/CATALOGO_29.PDF

La longitud de esta tubería viene dada con base en las alturas de cada uno de los equipos teniendo un total de 4.4934 m, contando pérdidas de presión, corte y soldaduras se tienen en cuenta 5 m de esta tubería.

Para las corrientes que no están involucradas en la obtención del pigmento y que además son gaseosas, corrientes 3 y 9, se utiliza la siguiente tubería:

Tabla 16. Características de la tubería según norma ASTM A106. Acero cédula 40

Características de la tubería según norma ASTM A106. Acero cédula 40		
	pulgadas	mm
Diámetro nominal	0.5	12.7
Diámetro exterior (O.D.)	0.84	21.3
Diámetro interior (I.D)	0.622	15.7988
Espesor de pared (T)	0.109	2.8
Presión a 22 °C	psi 699.789	kg/cm ² 49.2
Peso aproximado	kg/m 1.27	

Fuente: FR. Tubos A53, A106, API 5 L, GR B, SCH40 SCH80, SCH160. 2019. [sitio web]. [Consulta: 28 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/804740.pdf>

De esta tubería son 0.34 m. haciendo una aproximación a 0.5 m de esta tubería.

5.2.2 Especificación del tanque con calentamiento y agitación TK-101. El tanque con calentamiento es donde se va a llevar a cabo la reacción, en él, entran las semillas de achiote molidas con un diámetro de partícula de 0.42 mm y el agua, la Norbixina presente en estas semillas forma puentes de hidrógeno con el agua coloreando así al solvente, esto gracias a la acción de la temperatura y la agitación.

La temperatura dentro del tanque debe permanecer a 40°C para favorecer la extracción y no degradar los compuestos termolábiles como la Norbixina, respecto a la agitación, esta debe ser suave (velocidad característica en procesos de mezclado no críticos), esta se selecciona porque el tiempo de mezclado es prolongado, tienen poco movimiento en la superficie, así, la velocidad periférica esperada es de 2 m/s, por limitaciones a nivel laboratorio el proceso fue realizado sin agitación, el agitador escogido es de pala tipo ancla debido a que el Reynolds calculado es laminar, la velocidad tangencial es de 2 m/s y la viscosidad del medio es menor a 1000 Pa*s además son ideales para favorecer el intercambio de calor¹⁰⁹.

¹⁰⁹ CASTILLO. Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Seminario de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de ejecución en mecánica. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Universidad del Bío-Bío., 2013. [Consultado: 15 diciembre 2018]. p 79. Disponible en: http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Urbe_Vladimir.pdf

De acuerdo a lo especificado en el libro “The rules of thumb for chemical engineering”¹¹⁰ se tienen las siguientes consideraciones:

Se debe diseñar un tanque vertical debido a que se tiene ingresando 341.9568 kg de agua con una densidad de 1.0018 g/mL y 113.9856 kg semillas con una densidad de 0.625 g/mL obteniendo así un flujo de entrada de 523.7193 Litros (0.5237193 m³). Con los datos obtenidos se halla la relación altura-diámetro con la que se obtenga que el nivel del líquido sea igual al diámetro. La agitación se elige de paletas porque giran a baja velocidad periférica¹¹¹

Se escoge un calentamiento con chaqueta debido a que entre más metales tengan contacto con el pigmento, mayor probabilidad de que se presente migración de metales, además de esto las partículas de pigmento se adhieren más fácil a las superficies calientes haciendo que el sistema de calentamiento en serpentín no sea viable debido a la frecuente limpieza.

Para considerar la chaqueta se tienen las siguientes suposiciones:

- U es constante en toda la superficie y para el proceso completo
- El flujo del líquido de enfriamiento es constante
- Los calores específicos son constantes
- La temperatura de la corriente caliente de entrada es constante.
- La temperatura es homogénea en el fluido agitado
- No se tienen cambios parciales de fase
- Las pérdidas de calor son despreciables.
- El vapor de agua que se elimina es de 3.703704%

Debido a la velocidad de giro, se considera que no hay generación de vórtice. La potencia requerida para la agitación es de:

¹¹⁰ WALAS, Stanley. “The rules of thumb for chemical engineering [en línea]. Editorial Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering. 2011. [Citado el 26 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Chemical-Process-Equipment-Selection-and-Design-by-Stanley-M.-Walas.pdf> p. 10. ISBN: 0750693851.

¹¹¹ UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

Ecuación 12. Cálculo de número de potencia.

$$N_{Po} = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5}$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

Donde:

ρ de la mezcla (kg/m³) ... Ver Anexo L ...

N son las revoluciones por segundo del agitador.

D_a Diámetro del agitador (m)

N_{Po} Es el número de potencia

P potencia en W

Para calcular el número de potencia son necesarios el cálculo del número de Reynolds y el tipo de agitador:

Ecuación 13. Cálculo del número de Reynolds para el tanque con agitación y calentamiento.

$$Re = \frac{D_a^2 \rho N}{\mu}$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

Donde:

μ es la viscosidad dinámica en cP, se calcula teniendo en cuenta la densidad de una esfera (aleación de aluminio) y la velocidad a la cual atraviesa el fluido.

Ecuación 14. Viscosidad dinámica de un fluido.

$$\mu = \frac{2g(\rho_e - \rho_f) \times r^2}{9v}$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

$$\mu = \frac{2 * 9.8 \frac{m}{s^2} \times \left(2690 \frac{kg}{m^3} - 909 \frac{kg}{m^3} \right) \times \left(\frac{4.5}{2000} m \right)^2}{9 \times \left(\frac{0.018m}{1s} \right)}$$

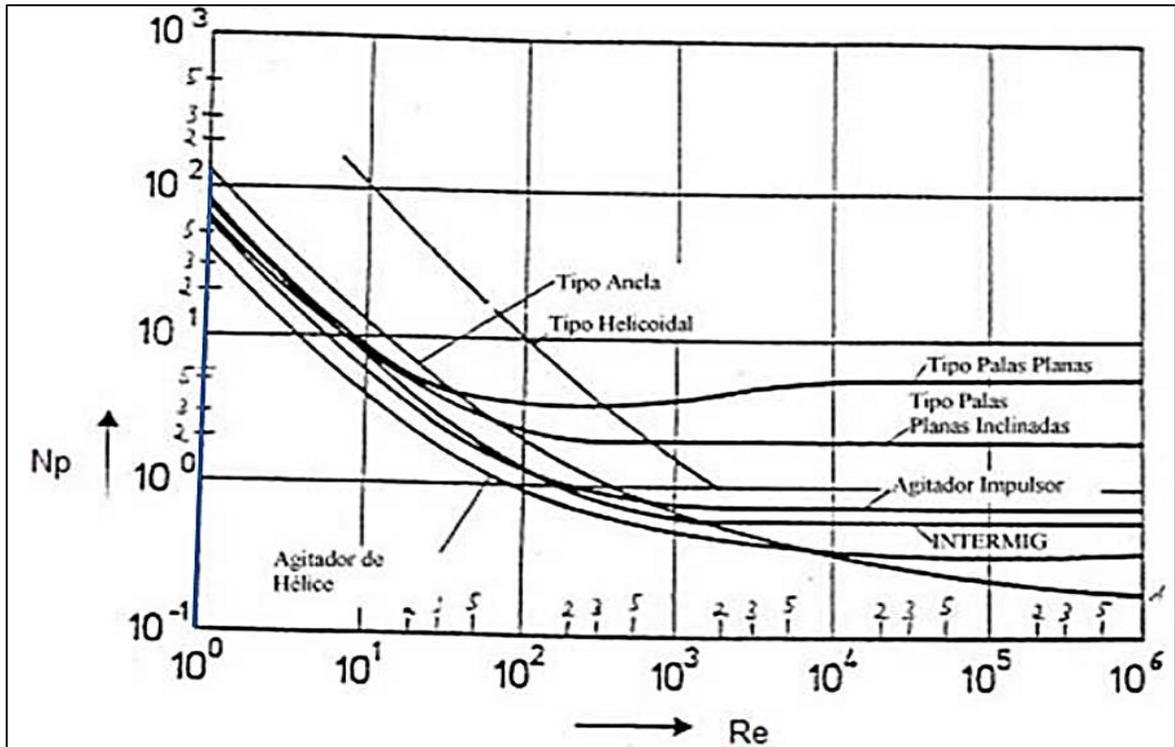
$$\mu = 1.0909 Pa \times s = 1090.9 cP$$

$$Re = \frac{(0.3051 m)^2 \times 909 \frac{kg}{m^3} \times 0.03477 rps}{1090.9 cP}$$

$Re = 0.0027$: se considera laminar

Con el número de Reynolds se puede ver en la gráfica número 8 el N_{p0} para así calcular la potencia.

Gráfica 10. Cálculo de Np para agitador.



Fuente: COLLAHUAZO. María y MALDONADO. Nathaly. Agitación en fluidos newtonianos. En: Slideshare. [sitio web]. [Consulta: 26 mayo 2019]. Archivo PPT. Disponible en: <https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion>

Ecuación 15. Cálculo de potencia de un tanque con agitación.

$$P = N_{P0} \times \rho \times N^3 \times Da^5$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

$$P = 150 \times 909 \frac{kg}{m^3} \times (0.03477 \text{ rps})^3 \times (0.3051 \text{ m})^5$$

$$P = 0.01515 \text{ W} = 0.00002032 \text{ HP}$$

Calor requerido para calentamiento:

Ecuación 16. Cálculo de calor.

$$Q = m \times cp \times (T2 - T1)$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

$$Cp_{achiote} = \frac{-m_{H2O} \times Cp_{H2O} \times \Delta T_1}{m_{achiote} \times \Delta T_2} = \frac{-0.042 \text{ kg} \times 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} \times (19 - 18.9) \text{K}}{0.009 \text{ kg} \times (19 - 19.9) \text{K}}$$

$$Cp_{achiote} = 2.1674 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$$

$$\bar{Cp}_{sustancia} = x_{achiote} \times Cp_{achiote} + x_{agua} \times Cp_{agua}$$

$$\bar{Cp}_{sustancia} = 0.25 \times 2.1674 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} + 0.75 \times 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$$

$$\bar{Cp}_{sustancia} = 3.6768 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}}$$

$$Q = 455.9424 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3.6768 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} \times (40 - 22) \text{K}$$

$$Q_{ganado} = 30175.3623 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{cedido} = Q_{recibido}$$

$$Q_{recibido} = \dot{m}_{ch} \times Cp_{ch} \times \Delta T$$

$$\dot{m}_{ch} = \frac{Q_{recibido}}{Cp_{ch} \times \Delta T} = \frac{30175.3623 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} \times (60 - 30) \text{K}} = 240.6329 \text{ kg/h}$$

Base de cálculo se toma como 1 hora.

El volumen va a ser igual que la masa debido a que se trabaja con agua y se considera una densidad de 1 g/mL

Volumen= 240.6 L o 0.2406 m³

Altura = 0.9153 m

Ecuación 17. Volumen de un cilindro.

$$V = A \times h$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

$$\begin{aligned}0.2406 &= A \times 0.9153 \\A &= 0.2627 m^2 \\A &= \pi r_2^2 - \pi r_1^2 \\A &= \pi(r_2^2 - r_1^2) \\0.2627 &= \pi(r_2^2 - 0.4577^2) \\r_2 &= \sqrt{\frac{0.2627}{\pi} + 0.4577^2} \\r_2 &= 0.5414 m\end{aligned}$$

Para calcular el espesor de la chaqueta se debe tener primero la presión hidrostática así:

Ecuación 18. Presión hidrostática.

$$P = \rho \times g \times h$$

Fuente: CONDORI. Elsa; COAGUILA. Miguel. Diseño, cálculo y construcción de la chaqueta de un tanque agitado del laboratorio de diseño de reactores de la escuela profesional de ingeniería química. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 63. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

$$\begin{aligned}P &= 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.9153 m \\P &= 8969.84 Pa = 1.3 psi\end{aligned}$$

Teóricamente se debe tener una presión superior a 30 psi, así que ésta se utiliza cuando se tienen presiones más bajas.

La ecuación para calcular el espesor es:

Ecuación 19. Espesor de la pared de la chaqueta de calentamiento.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Fuente: CONDORI. Elsa; COAGUILA. Miguel. Diseño, cálculo y construcción de la chaqueta de un tanque agitado del laboratorio de diseño de reactores de la escuela profesional de ingeniería química. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 63. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Donde:

P: presión de diseño, lb/pulg²

S: valor del esfuerzo del material, (lb/pulg²)

E: eficiencia de la junta

R: radio interior (pulg)

t: espesor de la pared (pulg)

Para el acero inoxidable S= 15700 lb/pulg² ... Ver Anexo M...

Para la eficiencia de soldaduras se tiene que “es el grado de confiabilidad de las juntas soldadas en relación con el grado de inspección y se establece como un porcentaje según el caso de soldadura a tope con penetración completa”.¹¹²

En el caso del cilindro este tiene un valor de 0.5¹¹³.

$$t = \frac{30 \text{ psi} \times 21.315 \text{ pulg}}{15700 \text{ psi} \times 0.5 - 0.6 \times 30 \text{ psi}} = 0.0816 \text{ pulg} = 2.07 \text{ mm}$$

¹¹² CONDORI. Elsa; COAGUILA. Miguel. Diseño, cálculo y construcción de la chaqueta de un tanque agitado del laboratorio de diseño de reactores de la escuela profesional de ingeniería química. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 63. Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹¹³ Ibid. p. 63.

Se recomienda un factor de seguridad de 4.9 para chaquetas de calentamiento por riesgo de presión¹¹⁴.

Con el balance de masa en el reactor, se puede ver la capacidad requerida en este tanque, contando con un sobrediseño del 15% con un tanque cilíndrico, con calentamiento, cerrado y con agitación de paletas.

Tabla 17. Especificaciones del tanque de calentamiento con agitación.

	Variable
Cámara de ebullición	
Material del reactor	Acero inoxidable 304
Altura tanque	0.9153 m
Diámetro	0.9153 m
T entrada	22 °C
T salida	40 °C (temperatura alcanzada en 1 hora)
Capacidad (+15%)	602.3 L o 0.6023 m ³
Cámara de calefacción	
Material	Acero inoxidable 304
Altura	0.9153 m
Diámetro	1.0828 m
T de entrada	60 °C
T de salida	30 °C
Espesor	10.143 mm o 0.4 pulg
Calor suministrado	30175.3623 $\frac{\text{kJ}}{\text{h}}$
Sistema de agitación	
Diámetro del agitador	0.3051 m
Nivel del impulsor por encima del fondo	0.3051 m
Ancho del agitador	0.076275 m
Seis deflectores verticales con este ancho.	0.06102 m
Revoluciones por minuto	2.0866 rps
Potencia	0.01515 W

Fuente: elaboración propia

5.2.3 Filtrador. El filtro a utilizar es un filtrador vertical tipo prensa de marcos y placas como el expuesto en la Imagen 38, donde se van a tener placas de 0.42 mm a 0.25 mm para que se descarten todos los sólidos, pero no se elimine así el color,

¹¹⁴ CONDORI. Elsa. Op. cit. p. 63

el filtrado se debe hacer en condiciones de filtrado lento (velocidad de formación de la torta de filtrado: 0.1-10 cm/h) debido a la característica lodosa de la mezcla. Se elige este filtro por la necesidad de recuperar el líquido principalmente, contando con características como una posibilidad excelente de lavado, un tamaño de partícula medio, un poder de filtrado alto y un espacio medio¹¹⁵.

Se debe diseñar un filtro donde ingresan 329.29173 kg de agua con una densidad de 1.0018 g/mL, 104.4906 kg semillas con una densidad de 0.625 g/mL y 9.495 kg de pigmento con una densidad de 0.1015 g/mL, obteniendo así un flujo de entrada de 589,432 Litros (0.5894 m³).

Imagen 38. Prensa filtradora de placas y marcos.



Fuente: ARMFIELD. [sitio web]. España. Prensa filtradora de placas y armazón. Tecnología alimentaria FT14 [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <http://armfieldonline.com/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon?url=es/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon>

Teniendo un factor de seguridad del 11 al 21%¹¹⁶ se busca una máquina que cumpla las especificaciones dadas presentando las siguientes características¹¹⁷, debido a

¹¹⁵ WALAS, Stanley. Op. cit. p. 331.

¹¹⁶ COUPER. James, *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 3 ed. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-396959-0. p. 331.

¹¹⁷ ARMFIELD. [sitio web]. España. Prensa filtradora de placas y armazón. Tecnología alimentaria FT14 [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <http://armfieldonline.com/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon?url=es/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon>

que el material más parecido que se encuentra en la literatura es el hierro fundido, se toman estos valores para dimensionar el filtrador:

Tabla 18. Especificaciones de Filtrador.

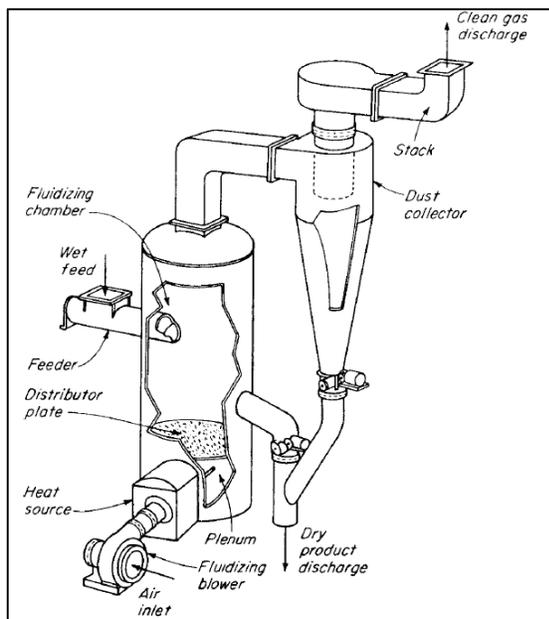
Material	Acero inoxidable 304
Tipo de Filtro	Filtro tipo prensa de placas y marco
Número de placas	4
Número de marcos	4
Número de hojas	12
Tamaño de plato	360 mm
Área de filtración efectiva por cámara	0.22 m ²
Capacidad de retención de la torta por cámara	2.5
Separación entre cámaras	0.1016 m
Espesor cámara	25 mm
Diámetro	0.762 m
Altura	1.55 m
Capacidad (+20%)	707.318 L (0.7073 m ³ – 186.8489 gal)

Fuente: elaboración propia

5.2.4 Secador por aspersion. Se eligen el proceso de secado por aspersion debido a que posee múltiples ventajas, entre ellas tiene un alto rendimiento debido a la velocidad del proceso, la evaporación del agua contenida refrigera la partícula permitiendo usar varias temperaturas de aire, según lo reportado en el libro Chemical Process Equipment Selection and Design, es el secado ideal para los compuestos termolábiles al poder operarlo a menores temperaturas y mayor presión además es un proceso indicado para pigmentos, el proceso puede realizarse en continuo y es constantemente controlado, el producto llega a tener homogeneidad, la automatización del equipo es sencilla, se eliminan operaciones intermedias como filtraciones, precipitaciones, cristalizaciones y clasificación del tamaño de partícula¹¹⁸. Un secador por aspersion tradicional es presentado a continuación:

¹¹⁸ GUARDIOLA. Eva. Elaboración de bases lácteas en polvo mediante secado por atomización para fabricación de chocolate. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero maestría universitaria en biotecnología alimentaria. Universidad de Oviedo, 2015. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 10-20. Disponible en: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM_EvaGuardiola.pdf

Imagen 39. Secador por aspersion.



Fuente: COUPER. Chemical process equipment selection and design.

Según lo descrito por Dávila en su trabajo de grado “Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa Orellana*)”, la temperatura ideal para realizar el secado por aspersion para el pigmento de achiote es entre 70-90 °C. Para la selección del secador se tiene:

Tabla 19. Especificaciones de secador por aspersion.

Material	Acero inoxidable 304
Tipo de Flujo	Paralelo
Abertura de boquilla	304.8 μm
Tipo de boquilla	Boquilla de fluido simple
Tamaño de partícula	800 μm
Potencia	0.1274 kW
Presión de operación	400 psi
Velocidad periférica	180 m/s
Velocidad de boquilla	20000 rpm
Altura	1.55 m
Diámetro de boquilla	0.00286 m
Diámetro	0.58 m
T de entrada de aire	244 °C
T salida del aire	60 °C
%Hr in	96.5%

Tabla 19. (Continuación)
Especificaciones de secador por aspersión

%Hr out	6%
Capacidad (+15%)	407.803 L (0.4078 m ³)

Fuente: elaboración propia

5.2.5 Tanque mezclador. De acuerdo a lo especificado en el libro “The rules of thumb for chemical engineering” ¹¹⁹ se tienen las siguientes consideraciones:

Se debe diseñar un tanque vertical como el expuesto en la Imagen 40 debido a que se tiene una producción de 150.015 kg/h (Corriente 14) de pintura con una densidad de 1.444383606 g/mL obteniendo así un flujo de salida de 103.8609 Litros (0.10386 m³). Con los datos obtenidos se halla la relación altura-diámetro con la que se obtenga que el nivel del líquido sea igual al diámetro.

Como se especificó en el apartado 4.3 la velocidad periférica en el tanque de agitación variaba entre 18 m/s y 30 m/s, con la ecuación 7 (presentada de nuevo a continuación) se calculan las revoluciones de la flecha empleada.

$$v = \pi \times d \times n$$

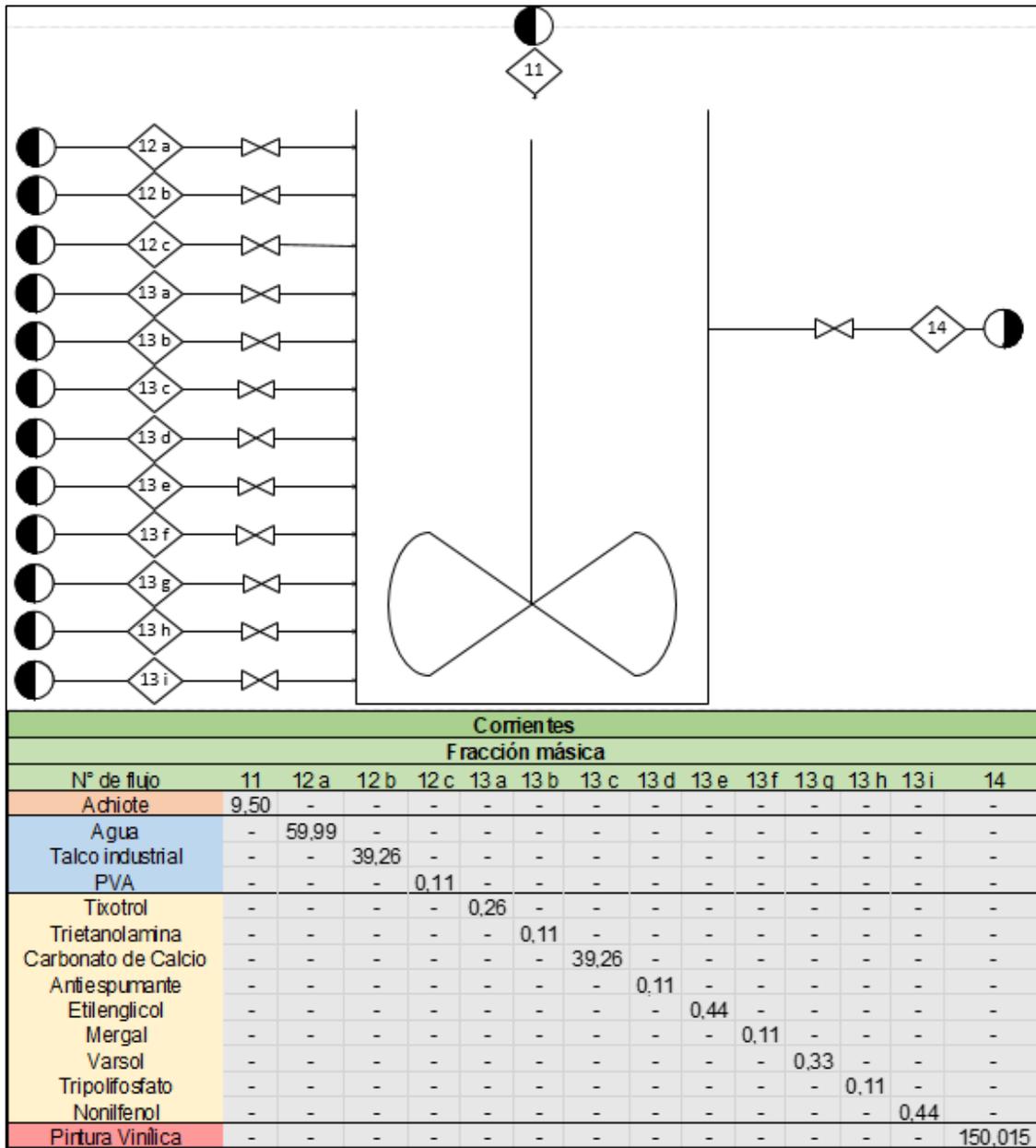
$$n = \frac{30 \text{ m/s}}{\pi \times 0.3051 \text{ m}}$$

$$n = \frac{30 \text{ m/s}}{\pi \times 0.3051 \text{ m}} = 31.299 \text{ rps}$$

$$n = \frac{18 \text{ m/s}}{\pi \times 0.3051 \text{ m}} = 18.78 \text{ rps}$$

¹¹⁹ WALAS, Op.cit. p. 20

Imagen 40. Tanque de mezclado de pintura vinílica.



Fuente: elaboración propia

La agitación es rápida debido a la alta velocidad periférica¹²⁰. La potencia de agitación se toma como la máxima entre las dos potencias que va a trabajar el motor para así satisfacer las pérdidas energéticas que se puedan llegar a generar. La ecuación de la potencia viene dada por:

¹²⁰ UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Op.cit. p. 8

Ecuación 20. Potencia de un motor de agitación.

$$P = K_T N^3 D a^5 \rho$$

Fuente: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

Donde:

Los factores N , Da y ρ ya fueron explicados en la ecuación 7.

K_T =Coeficiente extraído de la siguiente tabla:

Tabla 20. Valores de las constantes K_T y K_L para tanques que tienen cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya anchura es igual al 10% del diámetro del tanque.

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0 ⁴³	41	0.32
Paso 1.5 ³⁷	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas ³⁷ ($S_3 = 0.25$, $S_4 = 0.2$)	65	5.75
Seis palas inclinadas ⁴² (45° , $S_4 = 0.2$)	—	1.63
Cuatro palas inclinadas ³⁷ (45° , $S_4 = 0.2$)	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas ⁴³ ($S_4 = 0.2$)	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Cinta helicoidal	52	—
Ancla ³⁷	300	0.35

Fuente: IBARRA, Jorge. Transferencia de calor. En: Aulas de ciencias químicas UANL. [sitio web]. México. [Consulta: 26 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://joibarra.yolasite.com/resources/CONDUCCI%C3%93N.pdf>

$$P_{\text{máx}} = 5.75 \times (31.299 \text{ rps})^3 \times (0.3051 \text{ m})^5 \times 1444 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 409989.9221 \text{ W}$$

$$P = 409.99 \text{ kW} \sim 550 \text{ HP}$$

$$P_{\text{mín}} = 5.75 \times (18.78 \text{ rps})^3 \times (0.3051 \text{ m})^5 \times 1444 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 145389.43 \text{ W}$$

$$P = 145.38 \text{ kW} \sim 195 \text{ HP}$$

Con la información anterior se completa la tabla número 21.

Tabla 21. Especificaciones del tanque de mezclado (dispersión).

Material	Acero inoxidable 304
Tipo de tanque	Cilíndrico, abierto con agitación.
Tipo de impulsor	De turbina. Disco de 6 palas
Altura tanque	0.9153 m
Diámetro	0.9153 m
Diámetro del agitador	0.3051 m
Nivel del impulsor por encima del fondo	0.3051 m
Ancho del agitador	0.06102 m
Cuatro deflectores verticales con este ancho.	0.09153 m
Revoluciones por minuto	Se debe trabajar con 1000 rps (para velocidad de 18 m/s) y 1591.5 rps (para velocidad de 25 m/s)
Potencia máx y mín	550 HP – 195 HP
Capacidad (+15%)	119.44 L o 0.11944 m ³

Fuente: elaboración propia

Se ve que las potencias de funcionamiento del tanque son altas debido a la necesidad de una agitación vigorosa para la dispersión de los componentes en la pintura.

5.2.6 Bombas. Para impulsar los componentes en las tuberías son necesarias 2 bombas, una a la salida del reactor y una a la salida del filtrador; se consideran las 2 con un rendimiento del 80%. Las bombas tomadas en consideración fueron las bombas centrífugas ya que son utilizadas para flujos abundantes, pueden soportar el transporte de sustancias químicas, lodos y sólidos (como en el caso de la solución coloreada y las semillas) y aun así presentan baja necesidad de mantenimiento, es ampliamente utilizado a nivel industrial debido a su tamaño compacto en

comparación con la potencia que puede llegar a generar, tienen larga vida útil, un caudal constante y mantiene la presión uniforme, presentan bajos tiempos de llenado, fácil ajuste de caudal, son simples (no requieren válvulas ni muchas piezas móviles) y presentan un bajo consumo energético¹²¹.

Las alturas de cada uno de los equipos se presentan a continuación:

$h = 0.9153 \text{ m} = \text{Tanque de reacción}$

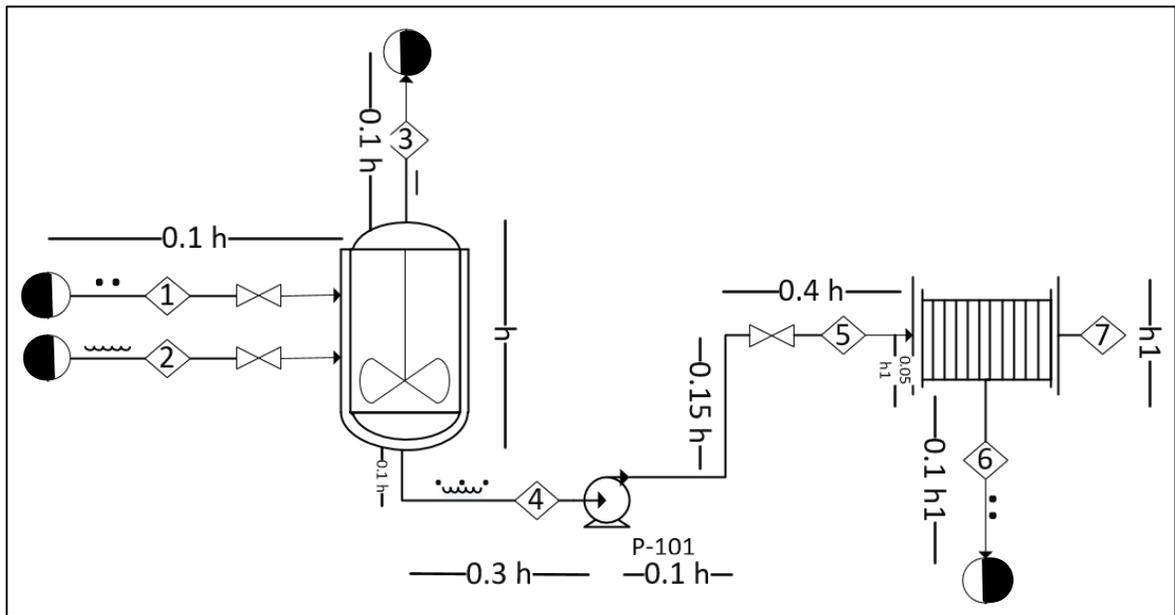
$h_1 = 1.55 \text{ m} = \text{Filtrador}$

$h_2 = 1.55 \text{ m} = \text{Evaporizador}$

$h_3 = 0.9153 \text{ m} = \text{Tanque de mezcla}$

Bomba P-101: esta bomba es la encargada de llevar las semillas y el agua al filtro, las alturas son especificadas en la siguiente figura:

Imagen 41. Operación bomba P-101



Fuente: elaboración propia

$$\dot{m} = 341.9568 \text{ kg/h}$$

$$\rho = 0.909 \text{ gr/mL}$$

$$T = 22^\circ\text{C}$$

$$Re = \frac{v * \rho * D}{\mu} = \frac{0.2621 \times 909 \times 0.0697}{1.0909} = 15.22$$

¹²¹ ROTOPLAS. [sitio web]. Top 5 beneficios de un abomba centrífuga párr 1. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/top-5-beneficios-de-una-bomba-centrifuga/>

$$f = \frac{64}{15.22} = 4.2044 \quad \text{Factor de fricción}$$

$$P2 = 909 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.7411 m$$

$$P2 = 6601.867 Pa = 0.9575 Psi$$

$$P1 = 909 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1.2924 m$$

$$P1 = 11399.3186 Pa = 1.65 Psi$$

$$h_A = \Delta z + \frac{\Delta v^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\gamma} + h_T$$

$$h_T = h_{AP} + h_{A2}$$

$$h_{AP} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{A2} = f \times \frac{\sum L_{equ}}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{AP} = 4.2044 \times \frac{0.96}{0.0697} \times \frac{0.2621^2}{2 \times 9.8} = 0.203 m$$

$$h_{A2} = 4.2044 \times \frac{3.048 + (3 \times 11.58)}{0.0697} \times \frac{0.2621^2}{2 \times 9.8} = 7.989 m$$

$$h_T = 0.203 m + 7.989 m = 8.192 m$$

$$h_A = 0.1373 m + \frac{((0.2621 m/s)^2 - (0)^2)}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} + \frac{6601.867 Pa - 11399.3186 Pa}{909 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2}} + 8.192 m$$

$$h_A = 7.7943 m$$

$$P_A = h_A \times \gamma \times Q$$

$$P_A = 7.7943 m \times 909 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.001 \frac{m^3}{s}$$

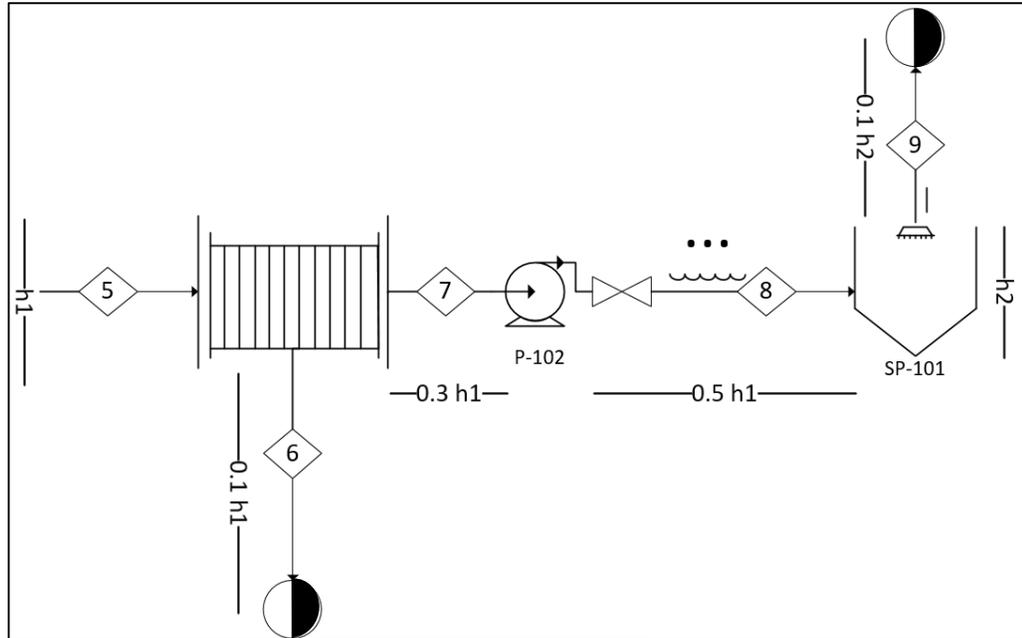
$$P_A = 69.43 \frac{J}{s} = W$$

$$P_A = 0.069 kW$$

$$P_{bomba} = \frac{P_A}{Rendimiento} = \frac{0.069 kW}{0.8} = 0.087 kW = 0.12 HP$$

Bomba P-102: esta bomba es la encargada de llevar la solución coloreada al evaporador donde se volverá polvo, las alturas son especificadas en la siguiente imagen:

Imagen 42. Operación bomba P-102



Fuente: elaboración propia.

$$\dot{m} = 271.0294 \text{ kg/h}$$

$$\rho = 1 \text{ g/mL}$$

$$T = 22^\circ\text{C}$$

$$Re = \frac{v * \rho * D}{\mu} = \frac{0.2621 \times 1000 \times 0.0697}{0.001558} = 11725.5263$$

$$f = \text{Mediante diagrama de Moody} = 0.03$$

$$P2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.026 \text{ m}$$

$$P2 = 10054.8 \text{ Pa} = 1.46 \text{ Psi}$$

$$P1 = 909 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.7411 \text{ m}$$

$$P1 = 6601.867 \text{ Pa} = 0.9575 \text{ Psi}$$

$$h_A = \Delta z + \frac{\Delta v_2^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\gamma} + h_T$$

$$h_T = h_{AP} + h_{A2}$$

$$h_{AP} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{A2} = f \times \frac{\sum L_{equ}}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{AP} = 0.03 \times \frac{1.24}{0.0697} \times \frac{0.2621^2}{2 * 9.8} = 0.00187m$$

$$h_{A2} = 0.03 \times \frac{3.048}{0.0697} \times \frac{0.2621^2}{2 * 9.8} = 0.0046 m$$

$$h_T = 0.00187m + 0.0046 m = 0.00647 m$$

$$h_A = \frac{((0.2621m/s)^2 - (0)^2)}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2}} + \frac{10054.8 Pa - 6601.867 Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2}} + 0.00647 m$$

$$h_A = 0.3623 m$$

$$P_A = h_A \times \gamma \times Q$$

$$P_A = 0.3623 m \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.001 \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 3.55 \frac{J}{s} = W$$

$$P_{bomba} = \frac{P_A}{Rendimiento} = \frac{3.55 W}{0.8} = 4.44 W = 0.006 HP$$

De esta forma se establecen los equipos necesarios para el proceso de obtención de 150 Kg de pintura por lote también se establecieron las necesidades energéticas y se tuvo en cuenta las características tanto del pigmento como de la pintura para el proceso, en conclusión, se tienen 4 equipos que van a hacer de este un proceso técnicamente viable.

6. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar la evaluación financiera se tienen en cuenta los costos fijos y los variables se utilizaron estimaciones dadas por la bibliografía, estas estimaciones están calculadas para el año 2003, por lo que traerán a valor presente para realizar una estimación más acertada (Anexos N,O,P y Q), las estimaciones también son dadas en Dólares, por lo que se hace necesario traerlas a pesos colombianos (COP) con una relación $1 \text{ Dólar estadounidense} = 3359.15 \text{ COP}$, no se tienen en cuenta los costos de importación de los equipos.

6.1 COSTOS EQUIPOS

6.1.1 Tanque de calentamiento con agitación¹²². Se estima el precio del reactor agitado con camisa, incluido el sellado de montaje, motores a prueba de explosión, reductor de velocidad, agitador, así como mezcladores simples de motores y montaje.

FOB (free on board): el comprador paga todos los costes posteriores a la entrega de la mercancía

Stainless: acero inoxidable

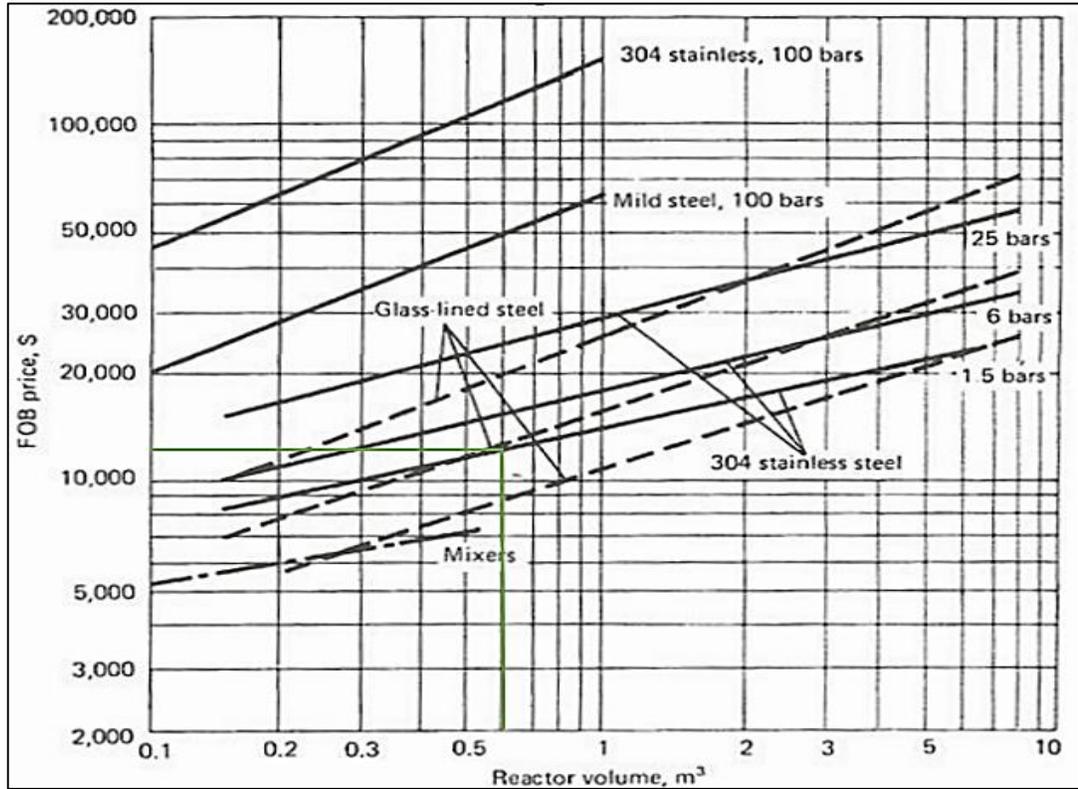
Mild steel: acero dulce

Glass-lined: recubrimiento de vidrio

Mixers: mezcladores

¹²² DE LA SERNA. Belén. Dimensionado de equipos y estimación de costes. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. [Consultado: 28 mayo 2019]. p 73-85. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20225/fichero/4_Dimensionado+de+equipos+y+estimaci%C3%B3n+del+coste.pdf

Gráfica 11. Precio del equipo frente a su volumen



Fuente: DE LA SERNA. Belén. Dimensionado de equipos y estimación de costes. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. [Consultado: 28 mayo 2019]. p 73-85. Disponible en:

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20225/fichero/4_Dimensionado+de+equipos+y+estimaci%C3%B3n+del+coste.pdf

$$FOB = 12500 \$ (\text{Dólares})$$

$$FOB_{2003} = 41'989.375 COP$$

$$FOB_{2019} = 84'255.152 COP$$

6.1.2 Filtrador.

Ecuación 21. Cálculo del filtrador.

$$C = \frac{740}{A^{0.45}} \frac{\$}{sqft}, \quad 10 < A < 1000 \text{ sqft}$$

Fuente: WALAS, Stanley. "The rules of thumb for chemical engineering [en línea]. Editorial Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering. 2011. [Citado el 26 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Chemical-Process-Equipment-Selection-and-Design-by-Stanley-M.-Walas.pdf> p. 10. ISBN: 0750693851.

$$A = 2\pi rh + 2\pi r^2 = 2\pi \times \frac{0.762m}{2} \times 1.55 m + 2\pi \left(\frac{0.762 m}{2}\right)^2$$

$$A = 4.623 m^2 = 49.76 \text{ sqft}$$

$$C = \frac{740}{(49.76)^{0.45}} \frac{\$}{sqft} = 127.54 \frac{\$}{sqft} \times 49.76 \text{ sqft} = 6346\$$$

$$C_{2003} = 21'317.166 \text{ COP}$$

$$C_{2019} = 42'774.656 \text{ COP}$$

6.1.3 Secador por aspersion.

Ecuación 22. Costo del secador por aspersion.

$$C = 1.218 F \exp(0.8403 + 0.8526(\ln X) - 0.0229(\ln X)^2)$$

Fuente: WALAS, Stanley. "The rules of thumb for chemical engineering [en línea]. Editorial Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering. 2011. [Citado el 26 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Chemical-Process-Equipment-Selection-and-Design-by-Stanley-M.-Walas.pdf> p. 10. ISBN: 0750693851.

$$C = 1.218 F \exp(0.8403 + 0.8526(\ln X) - 0.0229(\ln X)^2)$$

$$30 < X < 3000 \frac{lb}{h} \text{ evaporación}$$

$$\dot{m} = 271.029 \frac{kg}{h} = 597.52 \frac{lb}{h}$$

Con F=1 al ser acero inoxidable 304

$$C = 1.218 \times \exp(0.8403 + 0.8526(\ln 597.52) - 0.0229(\ln 597.52)^2)$$

$$C = 257.786 \text{ \$K} = 257786 \$$$

$$C_{2003} = 865'896.342 \text{ COP}$$

$$C_{2019} = 1.737'492.600 \text{ COP}$$

6.1.4 Mezclador. Con base en las heurísticas de estimación de costos expuestas en la Imagen 43 propuestas en el libro CHEMICAL PROCESS EQUIPMENT SELECTION AND DESIGN, se considera que el material a emplear es acero tipo 304 debido a que es el que se desea trabajar, también se tiene en cuenta que es un tanque vertical con motor (no se tiene en cuenta el tanque con agitación debido a que este presenta máximo 400 HP):

Ecuación 23. Costo del mezclador

$$C = F_M C_b + C_a$$

Fuente: COUPER. James, *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 3 ed. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-396959-0. p. 335.

Imagen 43. Factor F_M para costo del mezclador

Material	Cost Factor F_M
Stainless steel, 304	1.7
Stainless steel, 316	2.1
Carpenter 20CB-3	3.2
Nickel-200	5.4
Monel-400	3.6
Inconel-600	3.9
Incoloy-825	3.7
Titanium	7.7

Fuente: COUPER. James, *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 3 ed. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-396959-0. p. 324.

$$C_b = 1.672 \exp[9.100 + 0.2889(\ln W) + 0.04576 (\ln W)^2]$$

$$C_a = 480D^{0.7396}L^{0.7066}$$

$$C_b = 1.672 \exp[9.100 + 0.2889(\ln(3351.49)) + 0.04576 (\ln(3351.49))^2]$$

$$C_b = 1690.51$$

$$C_a = 480(3)^{0.7396}3^{0.7066}$$

$$C_a = 2351$$

$$C = 1.7 \times 1690.51 + 2351 = 5224.867$$

Tabla 22. Coeficientes para la determinación del costo en motores de agitación.

Type	Coefficients			HP limit
	a_1	a_2	a_3	
Open, drip-proof 3600 rpm	4.8314	0.09666	0.10960	1–7.5
	4.1514	0.53470	0.05252	7.5–250
	4.2432	1.03251	–0.03595	250–700
1800 rpm	4.7075	–0.01511	0.22888	1–7.5
	4.5212	0.47242	0.04820	7.5–250
	7.4044	–0.06464	0.05448	250–600
1200 rpm	4.9298	0.30118	0.12630	1–7.5
	5.0999	0.35861	0.06052	7.5–250
	4.6163	0.88531	–0.02188	250–500

Fuente: COUPER. James, *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 3 ed. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-396959-0. p. 336.

$$C = 2.20 \exp[a_1 + a_2 \ln(HP) + a_3 (\ln HP)^2]$$

$$C = 2.20 \exp[7.4044 + (-0.06464) * \ln(550) + 0.05448(\ln 550)^2]$$

$$C = 21038.49606\$$$

$$C = 5224.867 + 21038.49606 = 26263.363 \$$$

$$C_{2003} = 88'217.940 COP$$

$$C_{2019} = 177'016.590 COP$$

6.1.5 Bombas. Bomba centrífuga P-101. En el mercado una bomba con esta potencia ($\sim 1.2 HP$) está costando alrededor de 205.000 COP

$$C_{2019} = 205.000 COP$$

Bomba centrífuga P-102. En el mercado una bomba con esta potencia ($\sim \frac{1}{6} HP$ debido a que no se consiguen con menos) está costando alrededor de:

$$C_{2019} = 205.000 COP$$

6.1.6 Consumos energéticos. A continuación, se presenta un resumen de los costos energéticos de cada uno de los equipos tomando el costo energético del boletín del mes de abril de 2019 como 525.8151 COP/kWh para un industrial sin contribución, diaria, nivel 1:

Tabla 23. Resumen de consumo energético de los diferentes equipos.

Equipo	Consumo kW	Tiempo de funcionamiento en planta (h)	Costo (COP)
Tanque de calentamiento con agitación	8.3821	24	105778
Filtrador	Manual	0	0
Secador por aspersión	0.1274	2	134
Mezclador 550 HP	409.99	0.25	53895
Mezclador 195 HP	145.38	0.75	57332
Bomba P-101	0.087	0.003	0.14
Bomba P-102	4.44×10^{-3}	0.003	0.007

Fuente: elaboración propia

Costo total de la energía eléctrica: 217.140 COP por lote.

El agua se cuenta como una materia prima y su costo unitario es de 2610.01 \$/m³ según el acueducto de Bogotá para industrias en el mes de abril del año 2019.

6.2 COSTOS DE MAQUINARIA

Los costos de la maquinaria son presentados a continuación, se considera una vida útil de 15 años debido a los materiales de construcción con lo que se trabaja, el valor de cada uno de los equipos se encuentra especificado en el apartado 6.1; en el caso de los costos de maquinaria no se tiene en cuenta la depreciación dado que este es un costo fijo.

Tabla 24. Costo maquinaria.

Maquinaria y equipo en COP						
Ítem	Descripción	C/dad	Vida útil	V unitario	V total	Depreciación
1	Tanque de agitación con calentamiento	1	15	\$ 84.255.152,00	\$ 84.255.152,00	\$ 5.617.010,13
2	Filtro	1	15	\$ 42.774.656,00	\$ 42.774.656,00	\$ 2.851.643,73
3	Secador atomizador	1	15	\$ 1.737.492.600,00	\$ 1.737.492.600,00	\$ 115.832.840,00
4	Mezclador	1	15	\$ 177.016.590,00	\$ 177.016.590,00	\$ 11.801.106,00
5	Bomba 1	1	15	\$ 205.000,00	\$ 205.000,00	\$ 13.666,67
6	Bomba 2	1	15	\$ 205.000,00	\$ 205.000,00	\$ 13.666,67
7	Tubería acero	5	15	\$ 382.900,00	\$ 1.914.500,00	\$ 127.633,33
8	Tubería cedula 40	1	15	\$ 37.915,00	\$ 37.915,00	\$ 2.527,67
9	Codos acero	3	15	\$ 87.900,00	\$ 263.700,00	\$ 17.580,00
10	Válvulas mariposa	8	15	\$ 84.000,00	\$ 672.000,00	\$ 44.800,00
	Total				\$ 2.044.837.113,00	\$ 136.322.474,20

Fuente: elaboración propia

6.3 COSTOS FIJOS

Los costos fijos involucran aquellos que se deben pagar así la planta no esté realizando producciones, siendo así se tienen los siguientes gastos:

Tabla 25. Costo de contratación mensual secretario.

ÍTEM	COSTO COP
Salario básico	\$ 828.116
Auxilio de transporte	\$ 97.032
Salud	\$ 70.390
Pensión	\$ 99.374
ARL (nivel 1)	\$ 4.306
Parafiscales	\$ 74.530
Prima	\$ 68.982
Cesantías	\$ 68.982
Intereses de las cesantías	\$ 8.278
Vacaciones	\$ 34.532
Dotación	\$ 41.406
Total	\$ 1.395.929

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Costo de contratación mensual operario.

ÍTEM	COSTO COP
Salario básico	\$ 828.116
Auxilio de transporte	\$ 97.032
Salud	\$ 70.390
Pensión	\$ 99.374
ARL (nivel 4)	\$ 36.023
Parafiscales	\$ 74.530
Prima	\$ 68.982
Cesantías	\$ 68.982
Intereses de las cesantías	\$ 8.278
Vacaciones	\$ 34.532
Dotación	\$ 41.406
Total	\$ 1.427.645

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Costo de contratación mensual ingeniero

ÍTEM	COSTO COP
Salario básico	\$ 2.000.000,00
Salud	\$ 170.000,00
Pensión	\$ 240.000,00
ARL (nivel 4)	\$ 87.000,00
Parafiscales	\$ 180.000,00
Prima	\$ 166.600,00
Cesantías	\$ 166.600,00
Intereses de las cesantías	\$ 19.992,00
Vacaciones	\$ 83.400,00
Dotación	\$ 100.000,00
Total	\$ 3.213.592,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Costos de mano de obra.

Ítem	Descripción	C/dad	V unitario	V total
1	Ingeniero químico	1	\$ 3.213.592,00	\$ 3.213.592,00
2	operarios	2	\$ 1.427.645,48	\$ 2.855.290,95
3	Secretario	1	\$ 1.395.928,63	\$ 1.395.928,63
	Total			\$ 7.464.811,59

Fuente: elaboración propia

Tabla 29. Costo de uso de instalaciones

Costo de uso de instalaciones en COP					
Ítem	Descripción	C/dad	Periodicidad	V unitario	V total
1	Arriendo	1	mes	\$ 4.000.000,00	\$ 4.000.000,00
2	Servicios	1	mes	\$ 3.257.100,00	\$ 3.257.100,00
Costo de uso de instalaciones mes					\$ 7.257.100,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Resumen costos fijos por año.

Costos fijos año en COP					
Ítem	Descripción	C/dad	V unitario	V total	
1	Arriendo	12	\$ 4.000.000	\$ 48.000.000,00	
2	Depreciación	1	\$ 136.322.474	\$ 136.322.474,20	
3	Mano de obra	12	\$ 7.464.812	\$ 89.577.739,03	
4	Servicios	12	\$ 3.257.100	\$ 39.085.200,00	
Total año				\$ 312.985.413,23	

Fuente: elaboración propia

Los aspectos legales como los trámites notariales, los trámites en cámara de comercio y los trámites en DIAN no serán tenidos en cuenta para los costos de producción.

6.4 COSTOS VARIABLES

Los costos variables son aquellos que se ven afectados directamente por la producción, los costos para esta planta son:

Tabla 31. Costos de materia prima para un lote de 150 kg.

Materia Prima para un lote de 150 kg					
Ítem	Descripción	Un Medida	C/dad	V unitario	V total
1	Agua	kg	59,99	\$ 2,61	\$ 156,26
2	Carbonato de Calcio	kg	39,26	\$ 2.000,00	\$ 78.510,00
3	Talco industrial	kg	39,26	\$ 5.900,00	\$ 231.604,50
4	Achiote	kg	9,53	\$ 8.000,00	\$ 76.200,00
Total			148		\$ 386.470,76

Fuente: elaboración propia

Tabla 32. Costos de los insumos para producir 150 kg de pintura.

Insumos para un lote de 150 kg					
Ítem	Descripción	Un Medida	C/dad	V unitario	V total
1	Etilenglicol	kg	0,435	\$ 6.900,00	\$ 3.001,50
2	Nonilfenol	kg	0,435	\$ 11.900,00	\$ 5.176,50
3	Varsol	kg	0,330	\$ 9.900,00	\$ 3.267,00
4	Tixotrol	kg	0,255	\$ 15.900,00	\$ 4.054,50
5	Trietanolamina	kg	0,105	\$ 11.900,00	\$ 1.249,50
6	Antiespumante	kg	0,105	\$ 13.500,00	\$ 1.417,50
7	Mergal	kg	0,105	\$ 6.250,00	\$ 656,25
8	Tripolifosfato	kg	0,105	\$ 5.900,00	\$ 619,50
9	PVA	kg	0,105	\$ 7.500,00	\$ 787,50
Total					\$ 20.229,75

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. Resumen de costos variables para la producción de 150 kg de pintura.

Costos Variables para producir un 1 lote de 150 kg en COP				
Ítem	Descripción	C/dad	V unitario	V total
1	Materia Prima	1	\$ 386.471	\$ 386.470,76
2	Insumos	1	\$ 20.230	\$ 20.229,75
Total				\$ 406.700,51

Fuente: elaboración propia

6.5 Costos de producción de 1 lote

Para la producción de 1 lote de pintura es necesario tener en cuenta tanto los costos fijos como los variables, a continuación, se presentan estos costos:

Tabla 34. Costos de producción de 1 lote.

Costos de producción de un lote de 150 kg en COP					
Ítem	Descripción	C/dad	Referencia	V unitario	V total
1	Costos fijos	1	#f9	\$ 1.738.807,85	\$ 1.738.807,85
2	Costos variables	1	#f9	\$ 406.700,51	\$ 406.700,51
Total					\$ 2.145.508,36

Fuente: elaboración propia

El precio de venta se toma como el 20% de ganancia en cada uno de los productos, teniendo así los costos que se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 35. Precio de venta de cada lote.

Precio de venta del lote en COP						
Ítem	Descripción	C/dad	Referencia	V unitario	V total	
1	Tarro de pintura litro	103	#9	\$ 18.594,41	\$	1.915.223,80
Total					\$	1.915.223,80

Fuente: elaboración propia

6.6 TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

La tasa interna de retorno es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, lo que quiere decir que es el porcentaje de beneficio o de pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto¹²³.

Tabla 36. Utilidades del proyecto en cada año.

PRODUCTO 1	
Costo fijo	\$ 312.985.413,23
C. variable unitario	\$ 2.711,34
Venta unitaria	\$ 18.594,41
Unidades	27.000
PE Q = Unidades	19.705,60
Ingreso	\$ 502.048.956,76
Costos Totales	\$ 386.191.505,20
Utilidad	\$ 115.857.451,56

Fuente: elaboración propia

¹²³ SEVILLA, Andrés. [sitio web]. Economipedia. Tasa interna de retorna (TIR). párr 1. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

6.7 FLUJO DE CAJA

Cuadro 9. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA						
Descripción	0	1	2	3	4	5
INGRESOS	2.044.837.113	344.740.284	356.806.194	369.294.410	382.219.715	395.597.405
Aportes de los socios	2.044.837.113					
Ingresos por ventas		344.740.284	356.806.194	369.294.410	382.219.715	395.597.405
EGRESOS	0	386.191.505	399.708.208	413.697.995	428.177.425	443.163.635
Costos de producción		386.191.505	399.708.208	413.697.995	428.177.425	443.163.635
ACTIVOS FIJOS	2.044.837.113	0	0	0	0	0
Maquinaria y equipo	2.044.837.113					
TOTAL EGRESOS	2.044.837.113	386.191.505	399.708.208	413.697.995	428.177.425	443.163.635
Flujo del periodo	-2.044.837.113	-41.451.222	-42.902.014	-44.403.585	-45.957.710	-47.566.230
Flujo de caja acumulado	-2.044.837.113	-2.086.288.335	-2.129.190.349	-2.173.593.934	-2.219.551.644	-2.267.117.874

Fuente: elaboración propia

El flujo de caja representa los ingresos y los egresos netos en un proyecto a un tiempo determinado, tener la diferencia entre los ingresos y los egresos dan como resultado el flujo de caja neto que si es negativo simboliza pérdidas y si es positivo representa ganancias.

Para calcular la viabilidad de un proyecto son necesarios dos factores, que la tasa de oportunidad (TIO=10%) sea mayor a la tasa interna de retorno (TIR) y que el valor presente neto (VPN) sea positivo; en el caso de este proyecto la tasa de retorno de la inversión es superior a la tasa de oportunidad, lo que significa que el proyecto no es viable económicamente, por lo tanto el proyecto se rechaza dado que no alcanza la rentabilidad mínima que se pide a la inversión y el VPN tiene un valor negativo de **\$ 2.011'147.221.**

7. CONCLUSIONES

- A escala laboratorio la extracción que brindó mejores resultados con respecto a concentración y rendimiento para el achiote fue la extracción con agua y molienda malla 40, con una concentración promedio de 4,204 g/L (teóricamente se tienen relaciones de valores de 0,5 P/V¹²⁴) y un rendimiento promedio de 10,076%, que comparado con la literatura es superior (10,076% frente a 8%¹²⁵ presentado en la literatura).
- La extracción que dio mejores resultados en cuestión de rendimiento y concentración para la oleorresina de paprika fue la extracción Soxhlet con acetona y pimentón escaldado, esta presentó una concentración de 0,004 g/L y un rendimiento del 4,49%; además de esto, la oleorresina de pimentón escaldado obtuvo 63,993 grados ASTA considerándose así de alta calidad.
- Según la prueba de mojabilidad realizada a los dos colorantes, el pigmento de achiote sí presenta esta propiedad característica de los pigmentos utilizados en pinturas, particularidad que no presenta la oleorresina de paprika, haciendo del achiote el único pigmento de este proyecto viable para la formulación de pinturas.
- La formulación de pintura número 3, presenta propiedades similares y competitivas frente a la pintura comercial cumpliendo con en 87,5 % de las características evaluadas, la formulación número 2 presenta propiedades competitivas pero no tan fuertes como la formulación 3, de hecho, cumple con el 62,5 % de las características y la formulación 1 no presenta características competitivas frente a la pintura comercial cumpliendo solo con el 37,5% de las características; en orden de escogencia se selecciona la formulación 3, seguida de la formulación 2 y por último la formulación 1.
- La formulación escogida (Formulación 3) presenta un color que es comercial conocido popularmente como color piel y técnicamente, tomado de la paleta de colores Pantone presenta el código #efb5a0 (PMS 478) y por tanto hace que sea una opción viable al momento de fabricar juguetes de madera.
- La formulación escogida cumple la Resolución 3388 de 2008, con la norma UNE-EN 71-3 Seguridad de los juguetes. Parte 3: migración de ciertos elementos, esto se comprobó con la prueba realizada por el laboratorio M&G S.A.S tanto en MDF como en triplex.
- Al dimensionar la planta a escala piloto se tiene un tanque de agitación con chaqueta de calentamiento, un filtro vertical tipo prensa de marcos y placas, un

¹²⁴ DEVIA. Op. cit. p. 7

¹²⁵ Ibíd. p. 10

secador por aspersión y un tanque mezclador, que van a producir 15 lotes de 150 kg de pintura mensuales.

- Al tener en cuenta los valores de la TIO, la TIR y el flujo de caja es claro que el proyecto no es viable económicamente debido al costo de equipos para la extracción del pigmento, también el pigmento de achiote como materia prima es costoso (representa el 6,43% en cantidad de las materias primas y un 19,72% en costo de las mismas) debido al rendimiento y poder de coloración.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar qué componente es el que genera el cambio en el color de la formulación 1 generando que se obtenga un color más naranja que en las otras dos formulaciones.
- Analizar el comportamiento del pigmento de paprika y no de la oleorresina en la formulación de la pintura.
- Realizar más formulaciones de pintura tipo A que cumplan con la legislación colombiana para disminuir los costos de producción.
- Evaluar otros pigmentos naturales que presenten mojabilidad y que sean más económicos con mayor rendimiento.
- Buscar pigmentos que necesiten maquinaria más económica para su extracción.
- Estudiar diferentes colores producidos con mayor cantidad de pigmento de achiote.
- Se recomienda realizar el proceso de extracción de pigmento en una empresa diferente a la empresa que elabora pintura para aumentar la producción y entrar en el mercado de colorantes alimenticios, cosméticos e incluso farmacológicos disminuyendo el costo de producción de este pigmento. (Para esto es necesario diseñar 2 plantas y realizar el análisis financiero).

BIBLIOGRAFÍA

ADDINSOFT. XLSTAT. [software para análisis estadísticos]. Requerimientos del sistema: Excel desde la versión 2003 a la versión 2016 y para Mac desde la versión 2011. Disponible descarga en <https://www.xlstat.com/es/>

ÁGUEDA, Eduardo, *et al.* Embellecimiento de superficies. [en línea]. 3 ed. Ediciones Paraninfo, 2017. p. 34 [Consulta: 20 de septiembre de 2018]. Disponible en: [https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428339612/embellecimiento-de-superficies-3-%C2%AA--edicion p. 10](https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428339612/embellecimiento-de-superficies-3-%C2%AA--edicion-p.10). ISBN: 9788428339612.

AITIM. MADERA PRODUCTOS BÁSICOS Y CARPINTERÍA. Tableros de fibras MDF. [Sitio web]. Bogotá: [Consulta: 13 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Tableros_Fibras%20MDF_15.06.2015.pdf

AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos: The voice of the U.S. Spice industry in the global market. p 3-23. 1989. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.astaspice.org/food-safety/astaspice-analytical-methods-manual/>

AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. Method 12.1. Draft 4-14-2018. Piperine Content of Black and White Pepper, Their Oleoresins and Soluble Pepper Seasonings. En: AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION. [sitio web]. Estados Unidos. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.astaspice.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/PIPERINEMethod-12.1-formula-changes-04-14-18-final.pdf>

ARMIER. [sitio web]. España. Prensa filtradora de placas y armazón. Tecnología alimentaria FT14 [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <http://armieronline.com/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon?url=es/products/view/ft14/prensa-filtradora-de-placas-y-armazon>

CARDONA, Jhon. Obtención de oleoresina de pimentón (*capsicum annuum*). VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. [en línea]. 2006, 13. (41). p. 6 [Consultado: 20 septiembre 2018]. ISSN 0121-4004. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n1/v13n1a01.pdf>

CASTILLO. Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Seminario de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de ejecución en mecánica. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Universidad del Bío-Bío., 2013. [Consultado: 15 diciembre 2018]. p 79. Disponible en:

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf

CHIRE. Manuel y CHUPAYO. Oscar. [sitio web]. INPRA. Importancia del balance de pH en pinturas acuosas. párr 8. 2017. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201705086918/articulos/pinturas-y-recubrimientos/importancia-del-balance-de-ph-en-pinturas-acuosas.htm>

COATING INVENTIONS. DIY Pintura profesional para emprendedores. 2014. [video]. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=-O0u4H2EXZk>

COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Resolución número 3388 de 2008 (08, septiembre, 2008). Por la cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los juguetes, sus componentes y accesorios que se comercialicen en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones. [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. En: Diario oficial. Septiembre, 2008. Nro. 47108. p. Disponible en: [http://www.suin-juriscal.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscal.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/30033835?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)

COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. [Sitio web]. Propuesta modificada de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 95/2/CE relativa a aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes. 2000. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0451:FIN:ES:PDF>

CONDORI. Elsa; COAGUILA. Miguel. Diseño, cálculo y construcción de la chaqueta de un tanque agitado del laboratorio de diseño de reactores de la escuela profesional de ingeniería química. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 63. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CONtexto ganadero. [sitio web]. Colombia: CONtexto ganadero, Colombia tendrá planta de extracción de achiote para dar color a alimentos párr. 3. [Consulta: 9 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/agricultura/colombia-tendra-planta-de-extraccion-de-achiote-para-dar-color-alimentos>

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ADVENTISTA. Informe final de investigación. En: CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ADVENTISTA. 2011. [sitio web]. Medellín. [Consulta: 27 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investig

acion/Enero2012/IF_ENERO%202012/IF_CACERES_PAREDES_FIPA/Informe_final_Investigacion_Proyecto_2011.pdf

COUPER. James, *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 3 ed. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2012. ISBN 978-0-12-396959-0. p. 331.

DE GRANERO. [Sitio web]. 11 imprimaciones para pintar que debes conocer. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <http://degranero.es/imprimaciones-para-pintar/>

DE LA SERNA. Belén. Dimensionado de equipos y estimación de costes. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. [Consultado: 28 mayo 2019]. p 73-85. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20225/fichero/4_Dimensionado+de+equipos+y+estimaci%C3%B3n+del+coste.pd

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Desagregación de variables 2017. En: DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Bogotá: DANE. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo Excel. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-industrial-ipi>

DEVIA, Jorge y SALDARRIAGA, Liliana. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote. (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT. [en línea]. 2003, 39. (131). p. 6 [Consultado: 13 diciembre 2018]. ISSN 23448172. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899>

DICCIONARIO. [sitio web]. Achiote. Definición de Achiote. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD_esCO831CO831&q=Diccionario#dobs=achiote

DICCIONARIO. [sitio web]. Reología. párr. 1. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?q=reolog%C3%ADa&rlz=1C1CHBD_esCO831CO831&oq=reolog%C3%ADa&aqs=chrome.69i57j0l5.1622j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8

DIDÁCTICOS PINOCHO S.A. [sitio web]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. Bogotá: DIDÁCTICOS PINOCHO S.A. Disponible en <http://www.didacticospinocho.com/opinocho>.

ELECTRICFOR. [Sitio web]. Definiciones de términos comúnmente utilizados en calefacción control de temperatura. Acero inoxidable Austenítico. párr. 1.

[Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en:
<https://www.electricfor.es/es/17644/diccionario/Acero-inoxidable-austenitico.htm>

ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA. Pinturas. En: Escuela universitaria de arquitectura técnica. Coruña: EUAT. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en:
<http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/pintura/pinturas.pdf>

GIL, Maritza, *et al.* Obtención de la oleorresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto. En: UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Perspectivas y avances de investigación. [en línea]. Medellín: Artes y letras, Universidad de La Salle, 2010. p.5. [fecha de consulta: 13 diciembre 2018]. Disponible en:
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/64>

GUARDIOLA. Eva. Elaboración de bases lácticas en polvo mediante secado por atomización para fabricación de chocolate. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero maestría universitaria en biotecnología alimentaria. Universidad de Oviedo, 2015. [Consultado: 26 mayo 2019]. p 10-20. Disponible en:
http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32386/7/TFM_EvaGuardiola.pdf

IBRAHIM, Elmadfa; MUSKAT, Erich y FRITZSCHE, Doris. Tabla de aditivos. Los números E [en línea]. Editorial Hispano Europea, 2011. [Citado el 20 de septiembre de 2018]. Disponible en:
https://books.google.com.co/books?id=6aYI_pvi1CUC&printsec=frontcover&dq=Tabla+de+aditivos.+Los+n%C3%BAmeros+E&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjylbT19c3iAhXEpfKkKHcbxBTgQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Tabla%20de%20aditivos.%20Los%20n%C3%BAmeros%20E&f=false p. 10. ISBN: 9788425519680.

IMAZ COLOR. [sitio web]. Manual de mantenimiento industrial. Aplicación. Viscosidad de la pintura. párr 8. 2019. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en:
<http://imazcolor.com/viscosidad-de-la-pintura/>

INFOMADERAS. [sitio web]. Colombia. Maderas de Colombia: Perillo. 2017. párr. 6. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en:
<http://infomaderas.com/2014/01/29/maderas-de-colombia-perillo/>

INGENIERÍA QUÍMICA.ORG. [sitio web]. Diferencias entre químicos para pinturas a base de agua. 2014. párr. 4. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en:
<https://www.ingenieriaquimica.org/foros/diferencias-entre-quimicos-para-pintura-?page=1>

INPRA. Latina. [sitio web]. Todo en pinturas y recubrimientos. Mezcla y dispersión, procesos complementarios. 2010. párr 20. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible

en: <https://www.inpralatina.com/201009151975/articulos/pinturas-y-recubrimientos/mezcla-y-dispersion-procesos-complementarios.html>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El Instituto, 2018. ISBN9789585673 153p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Guías de concentraciones en aire y suelo. En: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Bogotá. IDEAM. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia1.pdf>

JARAMILLO, C y MUÑOZ, O. Extracción de colorante de Achiote. Universidad Nacional, Bogotá - Colombia. 1992.

LA TIENDA DEL TRIPLEX. [sitio web]. Medellín: párr 2. [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.latiendadeltriplex.com/triplex>

MAÑAY, Nelly; CLAVIJO, Giovanna y DÍAZ, Laura. Absorción atómica con horno de grafito. [sitio web]. Bogotá. p 79. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/02ba23e6cc083af03bfc55ac63a98a0c.pdf>

MARTÍN, Jaime. [Sitio web]. Evaluación de colorantes de origen vegetal y su aplicación en el tinturado de fibras naturales. En: Revista facultad de ciencias agrarias. Cauca: Universidad del Cauca.2007. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/62/48>

MARTÍNEZ, Jader. Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*capsicum annuum*) variedad "Nataly". [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad del Cauca, 2015. [Consultado: 14 mayo 2018]. p 25. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/409>

MELO, Andrés; MORA, Nelson. Evaluación técnico-financiera para el proceso de obtención de aceite vegetal a partir de aguacate (*Persea americana*) variedad Lorena. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Fundación Universidad de América, 2018. [Consultado: 15 diciembre 2018]. p 38. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6947/1/6131983-2018-2-IQ.pdf>

MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Informe de rendición de cuentas 2017. En: MINISTRO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. [sitio web]. Bogotá: Minagricultura. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/Documentos%20Publicos/RENDICION%20DE%20CUENTAS%20-%20INFORME%202016-2017.pdf>

MINISTERIO DE COMERCIO. [sitio web MINISTERIO DE COMERCIO. Pimentón colombiano, a un paso de llegar a Estados Unidos, el mayor importador a nivel mundial. párr 4. [Consulta: 15 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/pimenton-colombiano-a-un-paso-de-llegar-a-estados>

Minitab®18

NAVARRO. Tamara. Efecto del ligado sobre madera de *Pinus radiata D. Don* en los niveles de consumo de barnices. En: Universidad Austral de Chile. 2007. [sitio web]. Chile. [Consulta: 19 mayo 2019]. Archivo PDF. p 26. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifn322e/doc/fifn322e.pdf>

NEURTEK. 2019 [sitio web]. Medidor de adherencia. párr 6. [Consulta: 16 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/medidor-adherencia-pintura>

OMER. Siraj. [sitio web]. Use of REGWQ multiple comparisons of Qualitative data. párr 2. [Consulta: 14 mayo 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313879992_Use_of_REGWQ_Multiple_Comparisons_of_Qualitative_Data

OSPINA, Carlos, *et al.* El Pino Pátula. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. Colombia. 2011. [Consulta: 13 diciembre 2018]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/pinus.pdf>

PANTONE. [sitio web]. Tabla de colores PANTONE. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.logorapid.com/pantone>

PINTO MI CASA. [sitio web]. Secado al tacto, secado entre manos y secado total de la pintura. párr 4. [Consulta: 06 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.pintomicasa.com/2016/10/secado-al-tacto-secado-entre-manos-y-secado-total-de-la-pintura.html>

PINTURAS SUPER. [Sitio web]. Qué es la pintura tipo 1. párr. 3. [Consulta: 4 junio 2019]. Disponible en: <https://www.pinturassuper.com/pintura-tipo-1/>

PLAZA, Alberto. SING, Olga. Colorantes Naturales y la Oleoresina de paprika. Revista de Química. [en línea]. 1997, 11. (1). p. 81 [Consultado: 20 septiembre 2018]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5271/5265>

PRENSANDO EN FRÍO. 2019.[sitio web]. España. Aceites: extracción por prensado en frío párr 1. [Consulta: 13 mayo 2019]. Disponible en: http://www.prensandoenfrio.com/71041_es/prensado-en-frio-la-elaboracion-mas-natural-del-aceite-de-semillas/

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DICCIONARIO PANHISPÁNICO DE DUDAS. [sitio web]. Colombia. En Real Academia de la lengua española, RAE. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: lema.rae.es/dpd/srv/search?id=piMyVydqBD6anWPOhZ

REYES, Zoila. Extracción y evaluación del colorante natural de achiote (*Bixa Orellana L.*) como sustituto del colorante E-102 Amarillo No.5 (Tartracina) en la elaboración de un yogurt. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de San Carlos Guatemala, 2015. [Consultado: 13 mayo 2017]. p 38. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1334/>

ROTOPLAS. [sitio web]. Top 5 beneficios de un abomba centrífuga párr 1. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/top-5-beneficios-de-una-bomba-centrifuga/>

SANZ, Ascensión. Química orgánica industrial. La industria de los colorantes y pigmentos. 2011. [sitio web]. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>

SEVILLA, Andrés. [sitio web]. Economipedia. Tasa interna de retorna (TIR). párr 1. [Consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

SOLARTE, Carmen; MARTÍN, Jaime y OROZCO, Mara. Extracción y evaluación de calidad del pigmento del fruto de ají (*Capsicum Frutescens*), como colorante natural en la industria alimenticia. Universidad del Cauca, Popayán- Colombia. 2011. Disponible en: <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia/siquia2005pap8.pdf>

UNIVERSIDAD DE ALICANTE. Espectroscopia de emisión y absorción atómica. En: UNIVERSIDAD DE ALICANTE. [sitio web]. p 11. [Consulta: 27 mayo 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. [sitio web]. Colombia: UNAD. Pinturas. Breve descripción de los componentes de una pintura. 2015. párr 15. [Consulta: 06 mayo 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/SicarlosMolina/pinturas-50195104>

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Implementación de un sistema de control de un tanque continuamente agitado presurizado con intercambio de calor. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad San Francisco de Quito. 2017. [Consultado: 21 mayo 2019]. p 5-32. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/981/2/94247%20%28Tesis%29.pdf>

VEIGA, Yolanda. [sitio web]. España: EL CORREO, El balón o la Tablet, ¿qué prefieren los niños? párr 3. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.elcorreo.com/sociedad/balon-tablet-juguetes-20170928123307-nt.html>

WALAS, Stanley. "The rules of thumb for chemical engineering [en línea]. Editorial Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering. 2011. [Citado el 26 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://imtk.ui.ac.id/wp-content/uploads/2014/02/Chemical-Process-Equipment-Selection-and-Design-by-Stanley-M.-Walas.pdf> p. 10. ISBN: 0750693851.

ANEXO A.
FICHA TÉCNICA DEL PROGRAMA XLSTAT

Tipo: Complemento estadístico para Microsoft Excel.

Por: Addinsoft

Versiones: Vista/ Win 7/ Win 8/ Win 10

Excel: 2003, 2007, 2010, 2013, 2016.

Procesador: 32 o 64 bits

Disco duro: 150 Mb

ANEXO B.
DATOS DE LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE ACHIOTE CON DIFERENTES SOLVENTES.

Extracción	Rendimiento	Concentración * 10 ⁶	Concentración
T1	33,33	2,866199974	2,87E-06
T1	33	2,8001585	3,E-06
T1	33,25	2,756515156	2,76E-06
T1	33,28	2,961515154	2,96E-06
T1	33,5	2,846199974	2,85E-06
T2	8,94	2,205785233	2,21E-06
T2	8,5	2,337868181	2,34E-06
T2	8,96	2,395845455	2,4E-06
T2	8,85	2,65426547	2,65E-06
T2	8,35	2,964314565	2,96E-06
T3	7,53	2,473663932	2,47E-06
T3	7,9	2,38084387	2,38E-06
T3	7,7	2,158545645	2,16E-06
T3	7,5	2,97566946	2,98E-06
T3	7,6	2,423515552	2,42E-06
T4	13,56	1,958662298	1,96E-06
T4	13,57	1,866703875	1,87E-06
T4	13,59	1,861253636	1,86E-06
T4	13,58	1,777613852	1,78E-06
T4	13,09	1,97368424	1,97E-06
T5	15,49	2,131540848	2,13E-06
T5	15,5	2,350285136	2,35E-06
T5	15,6	2,226984562	2,23E-06
T5	15,48	2,351947785	2,35E-06
T5	15,6	2,223614958	2,22E-06
T6	7,79	2,364284771	2,36E-06
T6	7,86	2,403909655	2,4E-06
T6	7,56	2,351495826	2,35E-06
T6	7,88	2,254361419	2,25E-06
T6	7,96	2,347812951	2,35E-06

Fuente: elaboración propia

ANEXO C. DATOS DEL ANOVA REALIZADO PARA EL ACHIOTE CON DIFERENTES SOLVENTES

Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Concentración):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T1 vs T4	0,959	8,191	3,092	< 0,0001	0,050	Sí	0,597	1,320		
T1 vs T5	0,589	5,036	2,946	0,000	0,050	Sí	0,245	0,934		
T1 vs T6	0,502	4,288	2,946	0,001	0,050	Sí	0,157	0,846		
T1 vs T3	0,364	3,108	2,946	0,013	0,050	Sí	0,019	0,708		
T1 vs T2	0,335	2,859	2,946	0,009	0,050	Sí	-0,010	0,679		
T2 vs T4	0,624	5,333	2,946	0,000	0,050	Sí	0,279	0,969		
T2 vs T5	0,255	2,177	2,941	0,158	0,034	No	-0,089	0,599		
T2 vs T6	0,167	1,429	2,941	0,342	0,034	No	-0,177	0,511		
T2 vs T3	0,029	0,249	2,941	0,805	0,034	No	-0,315	0,373		
T3 vs T4	0,595	5,084	2,941	0,000	0,034	Sí	0,251	0,939		
T3 vs T5	0,226	1,928	2,810	0,153	0,025	No	-0,103	0,554		
T3 vs T6	0,138	1,180	2,810	0,250	0,025	No	-0,191	0,467		
T6 vs T4	0,457	3,904	2,810	0,002	0,025	Sí	0,128	0,786		
T6 vs T5	0,087	0,748	2,566	0,462	0,017	No	-0,213	0,388		
T5 vs T4	0,369	3,156	2,566	0,004	0,017	Sí	0,069	0,670		
Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Rendimiento):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T1 vs T3	25,626	216,760	3,092	< 0,0001	0,050	Sí	25,260	25,992		
T1 vs T6	25,462	215,373	2,946	< 0,0001	0,050	Sí	25,114	25,810		
T1 vs T2	24,552	207,675	2,946	< 0,0001	0,050	Sí	24,204	24,900		
T1 vs T4	19,794	167,429	2,946	< 0,0001	0,050	Sí	19,446	20,142		
T1 vs T5	17,738	150,039	2,946	< 0,0001	0,050	Sí	17,390	18,086		
T5 vs T3	7,888	66,721	2,946	< 0,0001	0,050	Sí	7,540	8,236		
T5 vs T6	7,724	65,334	2,941	< 0,0001	0,034	Sí	7,376	8,072		
T5 vs T2	6,814	57,637	2,941	< 0,0001	0,034	Sí	6,466	7,162		
T5 vs T4	2,056	17,391	2,941	< 0,0001	0,034	Sí	1,708	2,404		
T4 vs T3	5,832	49,331	2,941	< 0,0001	0,034	Sí	5,484	6,180		
T4 vs T6	5,668	47,943	2,810	< 0,0001	0,025	Sí	5,336	6,000		
T4 vs T2	4,758	40,246	2,810	< 0,0001	0,025	Sí	4,426	5,090		
T2 vs T3	1,074	9,085	2,810	< 0,0001	0,025	Sí	0,742	1,406		
T2 vs T6	0,910	7,697	2,566	< 0,0001	0,017	Sí	0,607	1,213		
T6 vs T3	0,164	1,387	2,566	0,178	0,017	No	-0,139	0,467		

Fuente: elaboración propia con base en el programa XLSTAT.

ANEXO D.
 DATOS DE LA EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO DE ACHIOTE CON AGUA Y
 DIFERENTES MALLAS

Extracción	Rendimiento	Concentración	Concentración
T1	10	2,08023	2,08023E-06
T1	9,968	2,13265	2,1327,E-06
T1	9,993	2,06985	2,06985E-06
T1	9,921	2,11695	2,11695E-06
T1	10,5	2,02025	2,02025E-06
T2	6,666	2,27284	2,27284E-06
T2	6,541	2,16875	2,16875E-06
T2	6,632	2,28465	2,28465E-06
T2	6,879	2,19642	2,19642E-06
T2	6,844	2,24999	2,24999E-06
T3	8,333	4,17986	4,17986E-06
T3	8,224	4,22163	4,22163E-06
T3	8,462	4,15324	4,15324E-06
T3	8,553	4,26423	4,26423E-06
T3	8,012	4,19864	4,19864E-06
T4	71,666	2,22514	2,22514E-06
T4	71,522	2,14972	2,14972E-06
T4	71,993	2,26412	2,26412E-06
T4	70,652	2,27649	2,27649E-06
T4	72,989	2,16318	2,16318E-06

Fuente: elaboración propia

**ANEXO E.
DATOS DEL ANOVA REALIZADO PARA EL ACHIOTE CON AGUA Y
DIFERENTES MALLAS.**

Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Concentración):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T3 vs T1	2,120	68,681	2,861	< 0,0001	0,050	Sí	2,031	2,208		■
T3 vs T4	1,988	64,412	2,580	< 0,0001	0,050	Sí	1,908	2,067		
T3 vs T2	1,969	63,803	2,580	< 0,0001	0,050	Sí	1,889	2,049		
T2 vs T1	0,151	4,878	2,580	0,000	0,050	Sí	0,071	0,230		
T2 vs T4	0,019	0,609	2,467	0,551	0,025	No	-0,057	0,095	■	
T4 vs T1	0,132	4,269	2,467	0,001	0,025	Sí	0,056	0,208		
Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Rendimiento):										
Contraste	Diferencia	ncia estanda	Valor crítico	Pr > Dif	fa (Modificad	Significativo	te inferior (9	te superior (9	te inferior (9	te superior (9
T4 vs T2	65,052	224,865	2,861	< 0,0001	0,050	Sí	64,224	65,880		■
T4 vs T3	63,448	219,319	2,580	< 0,0001	0,050	Sí	62,701	64,194		
T4 vs T1	61,688	213,237	2,580	< 0,0001	0,050	Sí	60,942	62,434		
T1 vs T2	3,364	11,628	2,580	< 0,0001	0,050	Sí	2,618	4,110		
T1 vs T3	1,760	6,082	2,467	< 0,0001	0,025	Sí	1,046	2,473		
T3 vs T2	1,604	5,546	2,467	< 0,0001	0,025	Sí	0,891	2,318		

Fuente: elaboración propia

ANEXO F.
 DATOS DE LA EXTRACCIÓN DE LA OLEORRESINA DE PAPRIKA CON
 DIFERENTES TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Extracción	Rendimiento	Concentración	Grados ASTA
T1	1,0552	0,00250957	35,05326373
T1	1,0328	0,00226131	31,56222215
T1	1,1943	0,00239899	33,49828356
T2	1,5219	0,00279942	41,18221793
T2	1,8492	0,00573995	84,70157953
T2	1,7516	0,00448274	66,09512014
T3	12,5188	0,00105449	13,6573526
T3	11,5514	0,00168119	21,9056334
T3	11,4539	0,00123461	16,027993
T4	4,2102	0,00219072	31,62050888
T4	4,3152	0,00197177	28,4357793
T4	4,9473	0,00184326	26,56654157

Fuente: elaboración propia

ANEXO G.
DATOS DEL ANOVA REALIZADO PARA LA EXTRACCIÓN DE LA OLEORRESINA DE PAPRIKA CON DIFERENTES TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Concentración):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T2 vs T3	0,003	4,845	3,202	0,006	0,050	Sí	0,001	0,005		
T2 vs T4	0,002	3,755	2,857	0,014	0,050	Sí	0,001	0,004		
T2 vs T1	0,002	3,132	2,857	0,014	0,050	Sí	0,000	0,004		
T1 vs T3	0,001	1,712	2,857	0,259	0,050	No	-0,001	0,003		
T1 vs T4	0,000	0,623	2,743	0,551	0,025	No	-0,001	0,002		
T4 vs T3	0,001	1,089	2,743	0,308	0,025	No	-0,001	0,002		

Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Rendimiento):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T3 vs T1	10,747	35,777	3,202	< 0,0001	0,050	Sí	9,785	11,709		
T3 vs T2	10,134	33,734	2,857	< 0,0001	0,050	Sí	9,275	10,992		
T3 vs T4	7,350	24,469	2,857	< 0,0001	0,050	Sí	6,492	8,209		
T4 vs T1	3,397	11,308	2,857	< 0,0001	0,050	Sí	2,538	4,255		
T4 vs T2	2,783	9,265	2,743	< 0,0001	0,025	Sí	1,959	3,607		
T2 vs T1	0,613	2,042	2,743	0,075	0,025	No	-0,211	1,438		

Extracción / REGWQ / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Grados ASTA):										
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	alfa (Modificado)	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
T2 vs T3	46,796	5,104	3,202	0,004	0,050	Sí	17,434	76,158		
T2 vs T4	35,119	3,830	2,857	0,012	0,050	Sí	8,919	61,319		
T2 vs T1	30,622	3,340	2,857	0,010	0,050	Sí	4,422	56,822		
T1 vs T3	16,174	1,764	2,857	0,241	0,050	No	-10,026	42,374		
T1 vs T4	4,497	0,490	2,743	0,637	0,025	No	-20,656	29,650		
T4 vs T3	11,677	1,274	2,743	0,239	0,025	No	-13,476	36,830		

Fuente: elaboración propia

ANEXO H.
DATOS CURVA DE SECADO DEL PIMENTÓN.

t	H Tratamiento 1	H Tratamiento 2	H Tratamiento 3
0	89,5801	69,0301	73,8414
60	71,6299	65,8541	65,6214
120	60,1316	55,9654	57,7521
180	52,6187	45,8465	48,9651
240	43,3152	37,0256	40,7412
300	36,2185	31,2366	33,1195
360	30,9314	25,9845	27,9631
420	25,5645	20,7451	23,1475
480	21,9636	16,8526	18,9513
540	20,3215	16,7598	18,5413
600	20,1645	16,1561	18,3523
660	19,9634	15,9561	18,2685
720	20,1985	15,9561	17,9842
780	20,6189	15,9561	17,9842
840	20,6188	15,9561	17,9842
900	20,6188	15,9561	17,9842

Fuente: elaboración propia

ANEXO I. MÉTODOS DE REALIZACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS

a) *Grado de adherencia* ¹²⁶. (Después de estar seco y curado) Con base a la norma: D-3359 ASTM. Método A (Cruz de Evans).

Se realizan dos líneas de 4 cm cada una (en forma de cruz sobre el material con ángulo entre 35 y 45°).

Se limpia.

Se pone la Cinta de 40 ° de fuerza (especial para esta prueba).

Se frota con una goma (para borrar) hasta lograr una gran adherencia.

Dejar de 30 a 50 segundos.

Criterios de aceptación de la prueba:

5 A - Ninguna remoción a lo largo de las incisiones.

4 A - Remoción mínima a lo largo de las incisiones.

3 A - Remoción de 0.8 mm de los lados de las incisiones.

2 A - Remoción de 1.6 mm en los lados de las incisiones.

2A - Remoción de la mayor área de la X.

0 A - Remoción mayor del área.

b) Densidad:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

c) Viscosidad:

$$\mu = \frac{2g(\rho_e - \rho_f) * r^2}{9v}$$

d) pH. Se midió con ayuda de un pHmetro JENWAY 350

e) Color. Se obtuvieron las 3 pinturas y estas se buscaron en la paleta de color de PANTONE, también se compararon con juguetes comerciales y se encontró el color que la formulación 3 generaba.

f) Tiempo de secado libre. Se toca la superficie hasta que al tocarla ya no deje huella.

g) Tiempo de secado total. Se espera que la capa superior de pintura esté dura.

h) Rendimiento a dos manos. Cantidad de gramos de pintura gastados para pintar cierta cantidad de superficie.

i) Inflamabilidad: NTC- EN 71-2. Se toma el juguete y se enciende con el mechero y se espera a que la llama se apague tan pronto es encendida, si no ocurre esto, el juguete no cumple la resolución 3388 de 2008, artículo 6; la velocidad de la llama debe ser lo más baja posible, si arden deben hacerlo lentamente y con poca velocidad de propagación de la llama.

¹²⁶ NEURTEK. Op. Cit. p. 21

ANEXO J. MÉTODO DE REALIZACIÓN PARA LA PRUEBA QUÍMICA

Las pruebas químicas realizadas son las especificadas en la NTC- EN 71-3. Seguridad de los juguetes. Parte 3. Migración de ciertos elementos químicos. En esta prueba hay que tener presente que el material base es la madera y la pintura es un recubrimiento, por lo que se considera, clasifica en la categoría 3.

Para esto se va a realizar:

Elemento	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg	Se
Coeficiente de corrección analítica (en %)	60	60	30	30	30	30	50	60

FUNDAMENTO: NTC- EN 71-3

Los elementos solubles se extraen de los materiales de los juguetes en condiciones que simulen el material cuando está en contacto con el ácido gástrico durante un cierto tiempo después de la ingestión. Las concentraciones de elementos solubles se determinan cuantitativamente.

6. REACTIVOS Y APARATOS

6.1. REACTIVOS

Durante los análisis, utilizar únicamente reactivos de calidad analítica reconocida (véase el Anexo D).

6.1.1. Solución de ácido clorhídrico $c(\text{HCl})$ de $(0,07 \pm 0,005)$ mol/l.

6.1.2. Solución de ácido clorhídrico $c(\text{HCl})$ de $(0,14 \pm 0,010)$ mol/l.

6.1.3. Solución de ácido clorhídrico $c(\text{HCl})$ de aproximadamente 1 mol/l.

6.1.4. Solución de ácido clorhídrico $c(\text{HCl})$ de aproximadamente 2 mol/l.

6.1.5. Solución de ácido clorhídrico $c(\text{HCl})$ de aproximadamente 6 mol/l.

6.1.6. 1,1,1 - tricloroetano con un máximo de 10 mg/kg de ácido clorhídrico cuando se realiza el ensayo de acuerdo con el Anexo A, o cualquier otro disolvente adecuado (véase el Anexo D).

6.1.7. Agua de grado 3 de pureza como mínimo, de acuerdo con la norma ISO 3696.

6.2. APARATOS

Material básico de laboratorio y

6.2.1. Tamices metálicos de acero inoxidable de un tejido simple de 0,5 mm de abertura nominal de malla y tolerancias de acuerdo con las indicaciones de la Tabla B.1 del Anexo B.

6.2.2. Un medio para medir el pH con una precisión de $\pm 0,2$ unidades de pH. Deben evitarse las contaminaciones (véase el Anexo D).

6.2.3. Un filtro de porosidad 0,45 μm .

6.2.4. Una centrífuga que pueda operar a $5.000g \pm 500g$ (véase el Anexo D).

6.2.5. Un medio para agitar la mezcla a una temperatura de $37^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$.

6.2.6. Un conjunto de recipientes de un volumen aproximado de 1,6 veces a 5,0 veces el del ácido clorhídrico de extracción.

7. ELECCION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

Una muestra de laboratorio para ensayo consiste en un juguete, tal y como se comercializa o bien tal y como está destinado a comercializarse. Las muestras de ensayo deben tomarse en las partes accesibles (véase la norma NTC EN 71-1) de un solo juguete muestra, es decir, que está admitido combinar los materiales idénticos de un juguete y considerarlos como una sola y misma muestra de ensayo, pero no utilizar otros juguetes de muestra. No está permitido componer muestras de ensayo con más de un material o color, salvo que la separación física o una masa demasiado limitada impida la formación de muestras discretas (por ejemplo: impresión por puntos, tejidos impresos) (véase el Anexo D).

Nota. Este requisito no impide que las muestras de ensayo se puedan tomar en materiales de modo que sean representativas del material en cuestión especificado y del sustrato sobre el que están depositadas (véase el Anexo D).

No se realizará el ensayo con muestras de ensayo en las que haya menos de 10 mg de material disponible.

10. INFORME DE ENSAYO

El informe del ensayo debe contener, como mínimo, las informaciones siguientes:

a) El tipo y la identificación del producto y/o del material ensayado.

b) La referencia de esta norma (NTC EN 71-3).

c) Los métodos utilizados para determinar el contenido de cada elemento y el límite de detección si dicho límite se aparta de las exigencias del numeral 9.

d) Los resultados de los ensayos expresados en miligramos de elemento por kilogramo de material, indicando que el resultado se refiere al elemento soluble.

e) Los detalles del método utilizado (a partir del numeral 8) para preparar la muestra de ensayo (incluido, por ejemplo, si se han incorporado elementos del material base, si ha habido que recurrir a un centrifugado para separar las partes sólidas de la solución antes del análisis, si ha habido que añadir ácido para bajar el pH, si la relación sólido/disolvente de extracción superaba 1/50 y el disolvente utilizado para extraer cualquier grasa, aceite, cera u otras sustancias similares en el material del juguete) y si la muestra se había ajustado a 1 mol/l para una conservación más allá de una jornada de trabajo.

f) Cualquier desviación, por acuerdo o no, del método de ensayo especificado.

g) La fecha del ensayo.

D.3. REQUISITOS ESPECIFICOS (véase el numeral 4.1)

El límite de migración del bario soluble ha pasado de 500 mg/kg a 1.000 mg/kg por las razones siguientes:

- La utilización de sulfato de bario en los juguetes ha dado a 37°C unos niveles de bario soluble en la solución de extracción $c(\text{HCl}) = 0,07 \text{ mol/l} \pm 0,005 \text{ mol/l}$ comprendidos entre 400 mg/kg y 600 mg/kg, tal y como se expresan en función del peso del material del juguete que se toma como muestra. Este nivel es tal que, en razón de la incertidumbre estadística de la determinación, no se ha podido pronunciar el rechazo o la aceptación.
- La formación de cristales de sulfato de bario coloidal no biodisponible en el filtrado, que da unos niveles de bario aparentemente soluble que superan los 500 mg/kg, en razón de problemas de filtrado.
- Además, el anterior límite de migración del bario de 500 mg/kg a partir de materiales de los juguetes no era coherente ni con los 25,0 $\mu\text{g}/\text{día}$ de biodisponibilidad, ni con los 8 mg/día de consumo de material del juguete. 25,0 μg corresponden a un límite de migración de 3 125 g/kg. Evidentemente, se ha elegido de manera deliberada el límite de los 500 mg/kg a pesar de la cifra “teórica” de 3 125 g/kg. El límite de los 500 mg/kg tiene como efecto rebajar la biodisponibilidad de los 25 μg recomendados a 4 μg . Hay que destacar que la cifra de 25,0 μg se ha fijado para rebajar el nivel que se había fijado inicialmente en 50,0 μg , no por razones toxicológicas, sino, según la Comisión de las Comunidades Europeas, “para evitar que aumente de forma inútil la carga corporal”.

ANEXO K.
VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN DEL AGUA.

Peso inicial de beaker con agua	270
Peso final de beaker con agua	260
Tiempo (horas)	24
t min	1440

Fuente: elaboración propia

$$Agua = \frac{(Peso\ inicial - Peso\ final)\ g}{t\ (minutos)}$$
$$Agua = \frac{(270 - 260)\ gr}{1440\ (minutos)} = 0.00694444\ g/min$$

ANEXO L.
PÉRDIDA DE AGUA EN EL PROCESO DE FILTRADO.

Nomenclatura		
Peso beaker vacío	B ₀	121.1
Peso semillas inicial	S ₀	30
Peso inicial de beaker con agua y semillas después de 24 horas en mufla	B ₁	237.76667
Peso final de beaker con semillas filtradas	B ₂	168.4333328

Fuente: elaboración propia

$$Agua = (B_2 - S_0 - B_0) g$$

$$Agua = (168.4333328 - 30 - 121.1)g = 17.3333328 \text{ gr}$$

$$Peso \text{ agua inicial} = (B_1 - S_0 - B_0) g$$

$$Peso \text{ agua inicial} = (237.76667 - 30 - 121.1) gr = 86.66667 g$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Agua perdida en filtrado} &= \frac{\text{Peso de agua perdida}}{\text{Peso agua inicial}} * 100 \% \\ &= \frac{17.3333328 g}{86.66667 g} * 100\% = 19.999\% \end{aligned}$$

$$Densidad \text{ de mezcla} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{5 g}{5.5 mL} = 0.9090 g/mL$$

ANEXO M.
PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1							TABLA 3						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia min. 30 000 lb/pulg² Tensión min. 75 000 lb/pulg²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia min. 30 000 lb/pulg² Tensión min. 75 000 lb/pulg²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304	2 3				Placa	SA-240	316	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2				Placa	SA-240	317	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—				Tubo s/c	SA-213	TP316	2	
		Tubo /sc	SA-312	TP304	2				Tubo s/c	SA-213	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2				Tubo s/c	SA-312	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	317	2	
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—				Tubo s/c	SA-376	TP316	2	
		Forj.	SA-182	F304	2				Tubo s/c	SA-376	TP316H	—	
Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—					
Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2					
TABLA 2							TABLA 4						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304L	—				Placa	SA-240	316L	—	
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—				Tubo s/c	SA-213	TP316L	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—				Tubo s/c	SA-312	TP316L	—	
		Forj.	SA-182	F304L	—				Forj.	SA-182	F316L	4	
		Barra	SA-479	304L	5				Barra	SA-479	316L	5	
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg²													
MATERIALES DE LA TABLA		PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F											
		-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	

Fuente: CONDORI. Elsa; COAGUILA. Miguel. Diseño, cálculo y construcción de la chaqueta de un tanque agitado del laboratorio de diseño de reactores de la escuela profesional de ingeniería química. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [Consultado: 26 mayo 2019].
 p 63. Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXO N.
VALOR PRESENTE DEL TANQUE CON AGITACIÓN Y CALENTAMIENTO.

Año	Valor en pesos colombianos
2003	\$41,989,375
2004	\$44,712,215.49
2005	\$47,170,417.09
2006	\$49,458,073.83
2007	\$51,675,160.08
2008	\$54,615,592.44
2009	\$58,808,649.39
2010	\$59,984,822.38
2011	\$61,890,222.87
2012	\$64,195,521.65
2013	\$65,759,831.7
2014	\$67,030,098.58
2015	\$69,482,419.54
2016	\$74,187,111.69
2017	\$78,450,739.22
2018	\$81,655,810.43
2019	\$84,255,152.5

Fuente: elaboración propia.

ANEXO O.
VALOR PRESENTE DEL FILTRADOR

Año	Valor en pesos colombianos
2003	\$21,317,166
2004	\$22,699,497.67
2005	\$23,947,477.46
2006	\$25,108,875.04
2007	\$26,234,445.39
2008	\$27,727,244.1
2009	\$29,855,975.26
2010	\$30,453,094.77
2011	\$31,420,428.49
2012	\$32,590,782.58
2013	\$33,384,951.51
2014	\$34,029,840.61
2015	\$35,274,834.92
2016	\$37,663,313.04
2017	\$39,827,871.47
2018	\$41,455,022.04
2019	\$42,774,656.02

Fuente: elaboración propia

ANEXO P.
VALOR PRESENTE DEL SECADOR POR ASPERSIÓN.

Año	Valor en pesos colombianos
2003	\$865,896,342
2004	\$922,046,204.24
2005	\$972,738,737.07
2006	\$1,019,914,328.52
2007	\$1,065,634,629.87
2008	\$1,126,271,627.33
2009	\$1,212,739,993.99
2010	\$1,236,994,793.87
2011	\$1,276,287,574.77
2012	\$1,323,826,976.85
2013	\$1,356,085,860.24
2014	\$1,382,281,045.34
2015	\$1,432,852,308.82
2016	\$1,529,871,512.4
2017	\$1,617,795,171.15
2018	\$1,683,889,497.22
2019	\$1,737,492,600.03

Fuente: elaboración propia.

ANEXO Q.
VALOR PRESENTE DEL TANQUE DE MEZCLA.

Año	Valor en pesos colombianos
2003	\$88,217,940
2004	\$93,938,515.24
2005	\$99,103,095.12
2006	\$103,909,367.29
2007	\$108,567,373.81
2008	\$114,745,100.57
2009	\$123,554,539.77
2010	\$126,025,630.57
2011	\$130,028,798.17
2012	\$134,872,135.55
2013	\$138,158,686.27
2014	\$140,827,464.45
2015	\$145,979,689.34
2016	\$155,864,052.94
2017	\$164,821,758.01
2018	\$171,555,480.06
2019	\$177,016,590.21

Fuente: elaboración propia

ANEXO R. RESULTADOS PRUEBA DE MIGRACIÓN DE METALES EN JUGUETES DE MADERA

1. Especificaciones Técnicas						
Tabla 1. Descripción						
Código Interno Muestra	Producto	Descripción de la Muestra				
19-1804-1	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 MDF	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 MDF				
Tabla 2. Límites de Migración de Elementos a Partir de Materiales del Juguete (UNE-EN 71-3)						
Código Interno Muestra	Producto	Color a Evaluar	Migración De Elementos Pesados (mg/kg)- Categoría III			
			Sb	As	Ba	Cd
19-1804-1	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 MDF	Rosado	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección
			Cr	Pb	Hg	Se
			Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección
Equipo(s) y/o Materiales Empleado(s)						
Espectrofotómetro de rayos X						
Límites de Detección del equipo:						
Límite de Detección Sb: 15,60 mg/kg			Límite de Detección Cr: 0,12 mg/kg			
Límite de Detección As: 0,58 mg/kg			Límite de Detección Pb: 1,84 mg/kg			
Límite de Detección Ba: 5,31 mg/kg			Límite de Detección Hg: 0,31 mg/kg			
Límite de Detección Cd: 3,19 mg/kg			Límite de Detección Se: 2,29 mg/kg			
<p>NOTA 1: La técnica de análisis se desarrolla por espectrofotometría de energía dispersiva de rayos X, por lo tanto, se relacionan los límites de detección para el equipo en el presente informe.</p> <p>NOTA 2: La muestra analizada no corresponde a un juguete en su presentación comercial, sin embargo, se realiza prueba de migración acorde a la UNE EN 71-3 para 8 elementos por solicitud del cliente.</p> <p>NOTA 3: La incertidumbre del ensayo corresponde a la incertidumbre expandida con un nivel de confianza de 95,45% y un k=2, por elemento:</p> <p>Para Sb de $\pm 1,44$ mg/kg Para As de $\pm 0,06$ mg/kg Para Ba de $\pm 0,48$ mg/kg Para Cd de $\pm 0,34$ mg/kg Para Cr de $\pm 0,01$ mg/kg Para Pb de $\pm 0,15$ mg/kg Para Hg de $\pm 0,03$ mg/kg Para Se de $\pm 0,23$ mg/kg</p> <p>Las condiciones ambientales durante el ensayo fueron de 19,7°C y una HR de 55,9 %</p>						
2. Norma(s) Utilizada(s):						
TÍTULO DE LA NORMA			CÓDIGO	Acreditado EMA		
				SI	NO	
Seguridad de los juguetes. Parte 3: Migración de ciertos elementos.			UNE-EN 71-3	X		
<p>NOTA 1: Los métodos de ensayo relacionados anteriormente fueron realizados en la Sede Principal</p> <p>NOTA 2: Para la realización de los ensayos relacionados en el presente informe de resultados se utilizó la última versión vigente de las normas de ensayo</p>						

1. Especificaciones Técnicas

Tabla 1. Descripción

Código Interno Muestra	Producto	Descripción de la Muestra
19-1533-1	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 TRIPLEX	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 TRIPLEX

Tabla 2. Límites de Migración de Elementos a Partir de Materiales del Jugete (UNE-EN 71-3)

Código Interno Muestra	Producto	Color a Evaluar	Migración De Elementos Pesados (mg/kg)- Categoría III			
			Sb	As	Ba	Cd
19-1533-1	MIGRACION DE METALES FORMULACION 3 TRIPLEX	Rosado	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección
			Cr	Pb	Hg	Se
			Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección	Menor al límite de detección

Equipo(s) y/o Materiales Empleados(s)

Espectrofotómetro de rayos X

Límites de Detección del equipo:

Límite de Detección Sb: 15,60 mg/kg

Límite de Detección As: 0,58 mg/kg

Límite de Detección Ba: 5,31 mg/kg

Límite de Detección Cd: 3,19 mg/kg

Límite de Detección Cr: 0,12 mg/kg

Límite de Detección Pb: 1,84 mg/kg

Límite de Detección Hg: 0,31 mg/kg

Límite de Detección Se: 2,29 mg/kg

NOTA 1: La técnica de análisis se desarrolla por espectrofotometría de energía dispersiva de rayos X, por lo tanto, se redujeron los límites de detección para el equipo en el presente informe.

NOTA 2: La muestra analizada no corresponde a un juguete en su presentación comercial, sin embargo se realizó prueba de migración acorde a la UNE EN 71-3 para 8 elementos por solicitud del cliente.

NOTA 3: La incertidumbre del ensayo corresponde a la incertidumbre expandida con un nivel de confianza de 95,45% y un $k=2$, por elemento:

Para Sb de $\pm 1,44$ mg/kg

Para As de $\pm 0,05$ mg/kg

Para Ba de $\pm 0,48$ mg/kg

Para Cd de $\pm 0,34$ mg/kg

Para Cr de $\pm 0,01$ mg/kg

Para Pb de $\pm 0,19$ mg/kg

Para Hg de $\pm 0,03$ mg/kg

Para Se de $\pm 0,23$ mg/kg

Las condiciones ambientales durante el ensayo fueron de 19,7°C y una HR de 55,9 %

2. Norma(s) Utilizada(s):

TÍTULO DE LA NORMA	CÓDIGO	Acreditado EMA	
		SI	NO
Seguridad de los juguetes. Parte 3: Migración de ciertos elementos.	UNE-EN 71-3	X	

NOTA 1: Los métodos de ensayo relacionados anteriormente fueron realizados en la Sede Principal

NOTA 2: Para la realización de los ensayos relacionados en el presente informe de resultados se utilizó la última versión vigente de las normas de ensayo

Fuente: elaboración propia