

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.ANTECEDENTES

Los colorantes naturales presentan demanda considerable en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica para reemplazar a los colorantes sintéticos, debido a su naturaleza química, inocuidad y funcionalidad.

Entre estos colorantes naturales se encuentran las antocianinas que son flavonoides fenólicos, que se distribuyen ampliamente en el reino vegetal y están presentes en raíces, tallos, hojas, flores y frutos de las plantas superiores; la coronta de maíz morado es una variedad pigmentada del *Zea mays* L., cuya fibra presenta color morado. Investigaciones recientes han revelado la presencia de compuestos tales como: un dímero de cianidina, derivados mono y diglicosidados de cianidina, pelargonidina, peonidina y otros fenólicos, que en su conjunto son llamadas antocianinas dependiendo de los grupos funcionales que presenten.

Las antocianinas pueden obtenerse por diferentes métodos. Las primeras investigaciones realizadas en la coronta fueron desarrolladas por Fernández en el año 1995, en la cual trabajó con diferentes condiciones por el método de maceración obteniendo a partir de 100 gramos de coronta 947,5 mg de antocianinas totales (No especifica si es en solución o en estado sólido). Existen actualmente diferentes técnicas de cuantificación como ser el método de pH diferencial, por HPLC o UV-vis.

Las técnicas de extracción actuales y trabajos realizados en los últimos 20 años han demostrado que la cantidad de antocianinas totales en la coronta son 10 veces más (Dato comparativo de la tabla II -2 y valor obtenido por Fernández en 1995) a las reportadas inicialmente en el año 1995 (Revisar anexo N) por los métodos tradicionales utilizados (equipo de soxhlet o agitadores); por otro lado, la extracción de compuestos bioactivos por ultrasonido ha permitido altas eficiencias por el cambio de frecuencia que realiza el equipo, pero dada la escala, trabajar con altas cantidades

de materia prima resulta complicado, por eso es que resulta más un método de extracción comparativo cuando se trabaja con grandes cantidades.

Las antocianinas provenientes de fuentes naturales son designadas comercialmente por la sigla E-163 (creada por el Sistema Internacional de Numeración de Aditivos Alimentarios (SIN) para establecer un sistema numérico internacional acordado de identificación de los aditivos alimentarios en las listas de ingredientes como alternativa a la declaración del nombre específico), que pueden estar en un estado sólido (torta, encapsulación) y líquido (solución); el colorante natural posee una pureza que va desde el 13 al 20% en polvo y de no mayor al 3% en líquido; en Perú las antocianinas son empleadas para la elaboración de refrescos y mazamoras instantáneas.

La EFSA (European Food Safety Authority) en su reglamentación permite el uso de las antocianinas para consumo de bebidas, en la dieta normal de comidas, productos alimenticios y su aplicación como colorante de alimentos, aun así Bolivia no menciona que las antocianinas puedan ser o no empleadas en las industria, alimentaria, farmacéutica, etc, según el catálogo de la norma Boliviana del año 2016 y la resolución administrativa N° 179/2011.

La coronta de maíz morado en la actualidad ya no es considerada un producto de descarte sino que se ha descubierto que resulta un elemento alternativo para la elaboración de alimento balanceado, abono orgánico para fertilizar suelos y obtención de celulosa y lignina; estudios recientes destacan la importancia de obtención de compuestos bioactivos a partir de residuos ya que las antocianinas se presentan en mayor proporción en la coronta.

1.2.PRINCIPALES EXPORTADORES MUNDIALES DE ANTOCIANINAS

Las antocianinas comenzaron a elaborarse comercialmente hace 30 años siendo Chr. Hansen pionero con este pigmento. La primera producción de antocianinas tuvo lugar a principios de la década de 1970 en las afueras de Montpellier, en medio de la zona

de viñedos del sur de Francia. Las primeras antocianinas se extrajeron de la piel de la uva y la grosella negra y de la baya de sauco.

Se hace mención que para el análisis comercial mundial de los países exportadores e importadores, se toma el sistema armonizado 320300 correspondiente a materias colorantes de origen vegetal o animal, por lo tanto se incluye la antocianina de maíz morado y otros productos (Sierra exportadora: Perú 2011).

Tabla I - 1 EXPORTADORES DEL SISTEMA ARMONIZADO: 320300
Materias colorantes de origen vegetal o animal - En miles de US\$

País	2008	2009	2010	2011	Participación %
Perú	30368	32654	91025	126020	12,1189624
Países Bajos	62198	74996	95024	112563	10,8248434
Alemania	67194	65149	93286	109419	10,5224944
España	67766	73780	77519	104047	10,0058854
Dinamarca	47456	49367	77158	99593	9,5775577
Los demás	318731	325381	373543	488216	46,9502567
MUNDO	593713	621327	807555	1039858	100

Fuente: http://www.academia.edu/25800786/ANTOCIANINA_DE_MAIZ_MORADO

Como se puede observar en el ranking mundial, Perú lidera las estadísticas de exportación registrando una participación de 12.12% para el año 2011, seguido por Países Bajos y Alemania. Se podría afirmar que Perú es el único proveedor de antocianina de maíz morado por lo que desde ya se debe tomar en cuenta que hay un gran potencial comercial para este producto.

1.3.PERÚ EXPORTADOR DE ANTOCIANINAS DE CORONTA Y MAÍZ MORADO

Las exportaciones peruanas de maíz morado durante el periodo 2008 – 2012, tuvieron como principal destino a EE.UU., el cual concentró el 92.12 % del total de los envíos, cuya variación respecto al año anterior es de 22.68 %; seguidamente se puede observar a Alemania que tan solo participa con el 4.21 % en las importaciones de antocianina desde Perú, cabe indicar que los siguientes destinos solo muestran participaciones minoritarias. (Sierra exportadora: Perú 2011)

Tabla I - 2 Mercados para la exportación de antocianina, durante el periodo 2008 – 2012, expresados en valor FOB

MERCADOS	2008	2009	2010	2011	2012	PART
EE.UU	8760	22206	37575	89012	109202	92,1162736
Alemania	-	-	-	-	4989	4,20842191
México	-	4	-	-	3195	2,69511084
Rep. Checa	-	-	-	-	587	0,49515808
Brasil	-	-	-	-	575	0,4850356
Argentina	-	-	-	4197	-	-
Australia	-	-	-	3650	-	-
Chile	-	-	535	-	-	-
Colombia	-	-	415	874	-	-
Francia	-	-	-	18	-	-
Holanda	-	-	-	10400	-	-
Reino Unido	-	-	-	7260	-	-
TOTAL	8760	22210	38525	115411	118548	100

Fuente: Asociación regional de exportadores – AREX
http://www.academia.edu/5800786/ANTOCIANINA_DE_MAÍZ_MORADO

En cuanto a colorantes de maíz morado, Venezuela también lo produce, los precios son similares, la cantidad es determinante, sobre todo cuando se emplea como insumo de industria alimentaria.

1.4.EMPRESAS Y PIGMENTOS (ANTOCIANINAS E-163) EN EL MUNDO

Las empresas tienen diversas fuentes de antocianinas y pueden comercializarse en líquido (extracto) o en polvo, las características del producto pueden ser solicitadas por los compradores o presentarse para su venta como se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla I - 3 Empresas que producen antocianinas

Empresa	Materia prima	Características del colorante	Estado
IMBAREX (Perú)	Coronta morada	Antocianinas: $\leq 5\%$ Estabilidad a la luz y temperatura: Buena Ph: 2 -5 Solubilidad: - Agua - Ácidos Vida Útil: 12 meses	Líquido
FLAVORIX (Madrid)	Zanahoria negra	pH: 2-4 IC: EV 11,5-12,5 Densidad: 1,15 – 1,30 g/ml	Líquido
	Col morada	pH: - IC: EV 15,5 – 16,5 Densidad: $\geq 1,10$ g/ml	Líquido
	Uva	pH: 1,5 - 3 IC: EV 5,8 – 6,2 Densidad: $\geq 1,16$ – 1,2	Líquido
FARBE (México)	Col roja	pH máximo 3 Concentración en solución: 1% VE: 10 Unidades de color EV: 1-20	Líquido

Fuente: Elaboración propia

1.5. ANTOCIANINAS EN MAÍZ BOLIVIANO – INVESTIGACIONES

Se realizaron investigaciones para caracterizar las antocianinas en diferentes variedades de maíz morado boliviano tanto de comunidades de La Paz como Cochabamba; los hallazgos obtenidos fueron la identificación de dos antocianinas mayoritarias en todas las variedades de maíz morado, independiente de su origen: cianidina-3-glucósido (42,5%) y cianidina-3-(6"malonil)- glucósido (30,7%).

La aplicación de las corontas para la producción de subproductos no existe, esto debido a la falta de conocimiento sobre el tema; actualmente es empleado para la alimentación del ganado y curiosamente para la elaboración de refresco en las comunidades de acuerdo a comentarios recabados en Abril del 2018

Tabla I - 4 Aplicación de la coronta en comunidades de Bolivia

Comunidad	Actividad
Mollespampa – Tarija	Alimento balanceado para chanchos – Molido
Santa Rosa – Tupiza	Refresco chicha
Yunchará – Tarija	Api morado enriquecido en fibra (Coronta)

Fuente: Elaboración propia.

La comunidad de Santa Rosa produce Maíz morado peruano y criollo ambos con la denominación Kulli, es vendido y llevado en camiones como coronta hasta la localidad que limita La Paz – Perú para su venta al por menor; el precio estimado de compra de la coronta en Perú es de:

Grano: 3\$us el Kilo

Coronta: 8\$us el kilo

Fuente: Alexander Quijano Rodríguez – Vendedor (Perú).

1.6.PRODUCCIÓN DE MAÍZ MORADO EN BOLIVIA

La CTNBio (Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad) considera que la coexistencia del maíz convencional y transgénico es posible, con simples labores agronómicas, y que no hace falta establecer reglas de aislamiento para la producción del grano porque el destino es la venta para consumo o autoconsumo

En la siguiente tabla se puede observar la producción de Maíz morado en los departamentos de Bolivia.

Tabla I - 5 Producción de maíz morado en los departamentos de Bolivia

	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
	Has	Has	Has	Has	Has
TOTAL	321542	309387	322296	352011	358526
Chuquisaca	66697	67171	69656	72802	76953
La Paz	84495	83671	85215	87210	90439
Cochabamba	36063	36399	36781	37240	38000
Potosí	21018	20672	20478	20290	20223
Tarija	43460	43400	42797	42585	41888
Santa Cruz	124225	113052	124957	152906	156465
Beni	7895	8049	8166	8111	8065
Pando	4351	4096	3852	3614	3387

Fuente: FOBOMADE, 2012 (http://www.cipca.org.bo/docs/publications/es/114_los-maices-en-la-seguridad-alimentaria-de-bolivia-1.pdf)

Bolivia – Potosí exportador de Maíz Kulli

En 2015, el principal destino de las exportaciones del departamento de Potosí fue la República de Corea del Sur, registrando un valor exportado de 347,4 millones de dólares que representa 22,7% del total de las exportaciones, de acuerdo con datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Estadística informó que el segundo cultivo de verano es el maíz con 37.867,30 quintales (datos del Censo Agropecuario 2013), cabe destacar que el cultivo del maíz registra mayor superficie que cubre 30,6% de la superficie cultivada con un rendimiento de 856,37 kilogramos por hectárea

1.7.OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Extraer colorante natural “antocianinas” a escala laboratorio de la Coronta del Maíz morado obtenida del desgrane en la comunidad de Santa Rosa - Tupiza

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características y propiedades de la materia prima a través de análisis fisicoquímico.
- Determinar experimentalmente un método de Extracción de la antocianina a partir de la Coronta de Maíz Morado.
- Elaborar un diseño factorial en base a las variables a considerar en el proceso.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de obtención de antocianinas de la coronta de Maíz morado.
- Caracterizar el producto terminado y comparar los resultados obtenidos de la antocianina obtenida a partir de otros estudios similares
- Realizar una estimación de costos del proyecto y además calcular el valor aproximado de producción de gramo de antocianinas totales procedentes de la coronta de maíz morado, en estado líquido (concentrado).

1.8. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se justifica en lo siguiente:

Investigaciones científicas demostraron que **los pigmentos hidrosolubles** presentes, pueden tener un beneficio para la salud de sus consumidores otorgándoles un alto valor agregado.

En nuestro País sería interesante la implementación de esta extracción en las pequeñas plantas donde se elabora el api morado como ser; en el municipio de Yunchará y Mollespampa en Tarija, Yurcuma, Santa Rosa y Cotagaita en Tupiza, Sorata en La Paz y algunas comunidades de Cochabamba que si bien compran el maíz de Perú también emplean el maíz de las comunidades vecinas para implementar una sección para la elaboración de este colorante y poder utilizar el desecho

(Coronta), dándole un mayor valor agregado y beneficiando a los productores de esta zona.

Desde el punto de vista ambiental, el presente proyecto no presenta factores negativos sobre el medio ambiente, dado que la coronta desgastada puede ser molida y utilizada para la elaboración de alimento balanceado de animales bovinos y vacunos por su rica cantidad de fibra.

Tecnológicamente el proceso no requiere de maquinaria ni equipo sofisticado para la extracción de la antocianina, por lo que abarata también los costos de inversión, en caso de emprender este proyecto.

En Bolivia no existe una empresa destinada a la extracción de antocianinas por lo que su implementación como subproducto en las plantas de producción de api morado existentes es recomendable, tanto en Tarija como a nivel nacional.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

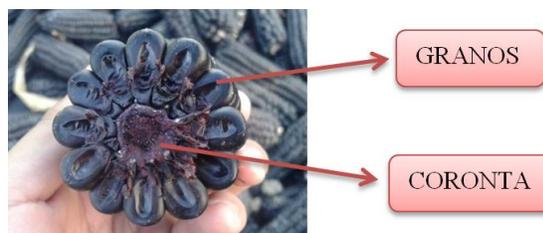
2.1.HISTORIA DEL MAÍZ MORADO (*Zea Mays*)

Zea mays es una gramínea originaria de las Américas incorporada en Europa en el siglo XVI. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo superando al trigo y el arroz. En la mayoría de los países de América, el maíz constituye la base histórica de la alimentación regional y uno de los aspectos centrales de la cultura mesoamericana. El uso principal del maíz es alimentario. Puede cocinarse entero, desgranado (como ingrediente de ensaladas, sopas y otras comidas). La harina de maíz (polenta) puede cocinarse sola o emplearse como ingrediente de otras recetas. El aceite de maíz es uno de los más económicos y es muy usado para freír alimentos. El maíz morado es una variedad de maíz que posee la coronta y los granos de color morado y es originario del altiplano andino (Bolivia y Perú). Contiene diferentes tipos de Antocianinas, siendo la cianidina-3- β -glucósido, su pigmento mayoritario el cual es un importante antioxidante.

2.2.LA CORONTA

El maíz presenta diferentes partes y para poder entender de dónde nace la coronta empezaremos diciendo que la planta posee dos sexos: masculino y femenino este último es un conjunto de flores en un intervalo de ramificaciones, donde nace el fruto o grano también llamado (Cariopse); la coronta es una inflorescencia femenina en forma de espiga que se transforma en mazorca y posee un raquis principal (Columna vertebral) donde están sentadas las hojas. (*Ismael Acosta, 2018*).

Figura II - 1 Coronta morada – corte horizontal



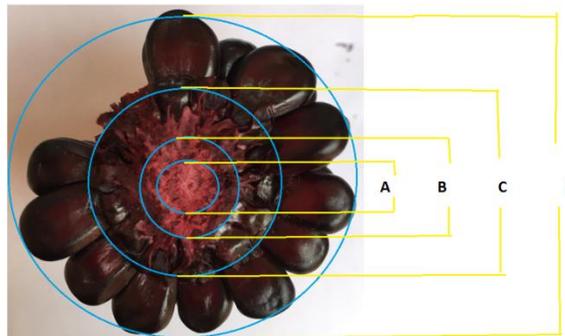
Fuente: Elaboración propia

Las inflorescencias femeninas, las mazorcas, se localizan en las yemas axilares de las hojas; la espiga, se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes denominadas comúnmente "chalias". La espiga, conjuntamente las brácteas, conforma la mazorca. (*Ismael Acosta, 2018*).

2.2.1. ESTRUCTURA DE LA CORONTA

Es el centro de la mazorca, también conocido como coronta, como puede observarse en la **Figura II – 2**; está formada por la médula (A) de color morado, su consistencia no es tan rígida y es rica en azúcares, el raquis (B) está después de la médula, su consistencia es rígida y fibrosa, el color de esta variedad es morado, contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, (C) es la coronta a la que se suma A y B, luego está (D) que es toda la mazorca (granos y coronta).

Figura II - 2 Estructura de la coronta



Fuente: Elaboración propia

La coronta está integrada por tejidos de reserva (tejidos parenquimáticos):

Son aquellos tejidos formados por células vivas que cumplen la función de nutrición del vegetal, su finalidad es variable y depende del órgano donde se encuentre; en este caso se refiere a la coronta que cumple la función de reserva y de asimilación.

Adentrándonos a la célula se puede decir que el pigmento sale de la célula y tiñe al tejido.

2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CORONTA

La coronta tiene una importante fracción de fibra, carbohidratos y minerales. En el grano también se destaca el contenido de carbohidratos y proteínas.

Tabla II - 1 Composición Fisicoquímica de la coronta y granos

COMPONENTES	GRANOS	CORONTA
CARBOHIDRATOS	71,30	54,68
PROTEÍNAS	8,41	1,48
GRASA	6,65	0,99
FIBRA	3,35	40,71
CENIZA	1,55	2,14

Fuente: Extracción y caracterización del colorante de maíz negro (*Zea mays* L.) y su determinación de su actividad antioxidante – Jenny Fernanda Almeida Gudiño

Tabla II - 2 Composición química de la coronta

COMPONENTES	Valores
	Coronta
Antocianina (mg de cianidina 3-B glucosídico)/g de muestra	104mg \pm 1,5
Nitratos (mg/100g de muestra)	0,009 \pm 0,001
Ácido Oxálico (%)	0,10 \pm 0,01
Compuestos fenólicos mg/ GAE/g de muestra	277,34 \pm 0,57
Celulosa (%)	45 \pm 5
Lignina Klason (%)	15.8

Fuente: Extracción y caracterización del colorante natural del maíz negro (*Zea mays* L.) y determinación de su actividad antioxidante. Jenny Fernanda Almeida Gudiño 2012

2.2.3. DESARROLLO DEL PIGMENTO MORADO DE LA CORONTA

Existen factores que influyen en la aparición del color en la coronta. Estos factores son:

El factor climático: La zona más propicia para el cultivo de este cereal son las sierras bajas de la zona andina, tanto del Perú como de Bolivia, México y Guatemala.

El factor hereditario: Se fija por la acción de los genes en el momento de la fecundación. Los genes A B, P1 Y rch son los causantes de la aparición del color en el grano. Si alguno de estos genes no se presenta o se encuentra inhibido, el color no aparece (*Menciona: Jose Antonio Elias Sansoni, Dery Gameri Collado, 1988 – Citado: Grobman*)

El pigmento antociánico al que el maíz morado debe su color es elaborado por la planta y se encuentra en la savia celular; aparece después de la fecundación, cuando se inicia la maduración en la mazorca. Inicialmente, la mazorca es blanca, pero a medida que va madurando, aparecen unos puntos morados en los granos y luego la coloración se extiende hacia el pericarpio del grano y hacia el centro de la coronta, es por esto que la coronta es rica en el pigmento, pues allí se concentra la coloración morada, mientras que la semilla o grano no se tiñe y solo el pericarpio presenta la coloración. (*Jose Antonio Elias Sansoni, Dery Gameri Collado, 1988*)

2.3.PIGMENTOS NATURALES

Los pigmentos se pueden clasificar como naturales o sintéticos. Los pigmentos naturales se producen por organismos vivos, como las plantas, animales, hongos y microorganismos. Sin embargo, los pigmentos sintéticos se obtienen por síntesis química en el laboratorio, basándose en la estructura química de los pigmentos naturales identificados previamente por métodos instrumentales

Los pigmentos sintéticos pueden contener sales orgánicas derivadas del titanio, oro, plata y además plomo.

Existe una larga lista de pigmentos naturales porque la demanda de estos productos ha aumentado. Los consumidores en la actualidad ponen mayor atención en las etiquetas de los alimentos que utilicen insumos de origen orgánico y natural porque cuidan más de su salud, por lo tanto los fabricantes de aditivos alimentarios están buscando más productos naturales para sustituir a los artificiales.

Entre los colorantes permitidos actualmente en alimentos se mencionan:

Tabla II - 3 Colorantes Usados en la Industria Alimentaria.

Pigmentos naturales	Colorantes sintéticos
Extracto de bija (Annato)	Extracto de bija (Annato)
Remolacha deshidratada	Azul No. 2 (Indigotina)
Cantaxantina (â-caroteno-4,4´diona), âapo-B´-carotenal y carotenal	Amarillo No. 5 (Tartrazina)
Extracto de cochinilla	Amarillo No. 6
Complejo clorofilina sódica con cobre	Dióxido de titanio
Caramelo	Rojo No. 3 (Eritrosina)
Gluconato	Rojo No. 40 (6-hidroxi-5-[2-metoxi-5-metil-
Extracto colorante de uva	Verde No. 3 (Verde firme)
Jugos de frutas y verduras	Colorante E-163 (Antocianinas)
Pimentón o la oleorresina del pimentón	
Azafrán	
Curcumina o su oleorresina	

Fuente: Colores Alimentarios en la salud - http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/pdfs/2012/11/articulo_colorantes_abril_2012.pdf

Algunos factores que influyen al momento de tomar la decisión de utilizar un colorante natural, y que se relacionan con los principales desafíos en su utilización, son:

- Costo mayor que el de su equivalente sintético.
- Estabilidad del color y su dependencia de factores tales como pH, temperatura, exposición a la luz y reacciones de oxidación con otros ingredientes.
- Uniformidad del color durante el procesamiento y almacenaje del alimento.
- Durabilidad del color y alteración del sabor durante el período de almacenaje del alimento.
- Inocuidad y propiedades benéficas para la salud que se atribuyen a algunos pigmentos naturales.

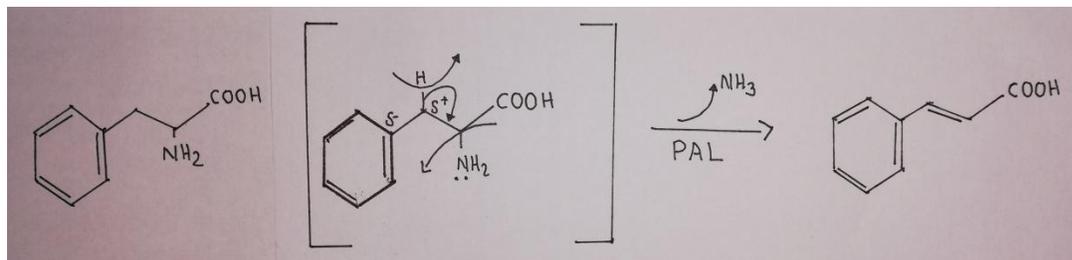
2.4. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO: ANTOCIANINAS

La mayoría de los pigmentos vegetales, entre los cuales se encuentran las antocianinas, se localizan en el protoplasma de las células, dentro de los organelos especializados llamados 42 plástidos, que se pueden observar con el microscopio, ya que forman pequeñas placas o agujas de estructura cristalina; en algunos casos, cuando son solubles en agua, se ubican disueltos en las vacuolas de las células.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTOCIANINAS

Las antocianinas (del griego *anthos* flor y *kyanos* azul), son el grupo más importante de pigmentos solubles al agua visibles para el ojo humano.

- Las plantas pueden desaminar fenilamina por medio de la L. fenilamina amoniliasa que es una enzima que en este caso cataliza la ruptura de los enlaces C-N.

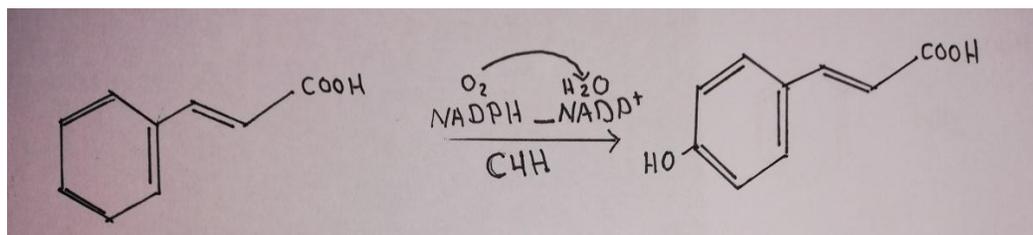


Fenilalanina

Reacción de eliminación

Ácido trans-cinámico

- El ácido trans-cinámico puede ser hidroxilado por la cinamato 4 hidroxilasa (C4H) que está unida al citocromo P450, para formar el ácido p-cumárico. El citocromo p450 es dependiente de la Nicotinamida adenina dinucleótido (NADPH) la misma también requiere oxígeno, pues oxida a dos sustratos (NADPH y ácido cinámico) y reduce uno, (el O₂).

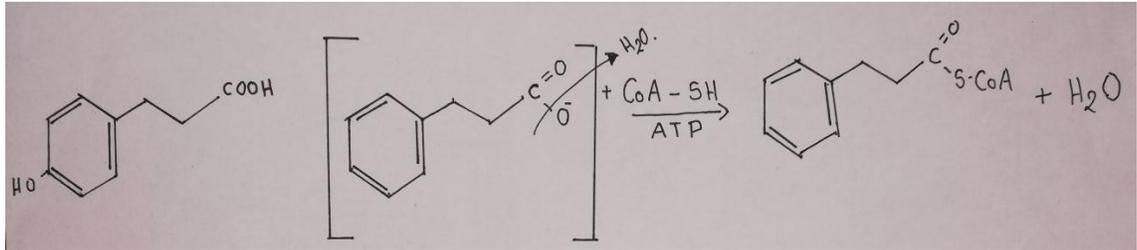


Ácido trans-cinámico

Oxido reducción

Ácido p-cumárico

- El p-cumarico se une a la **coenzima A** para formar un precursor tio ester activado, llamado p-coumaril CoA. Existe una descarboxilación y oxidación del ácido 4-cumarico, un grupo hidroxilo es eliminado en forma de H₂O.

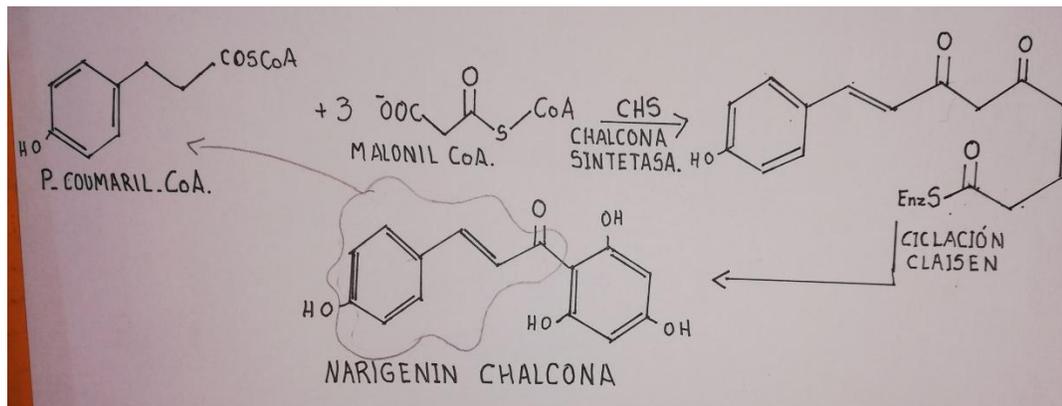


Ácido p-cumárico

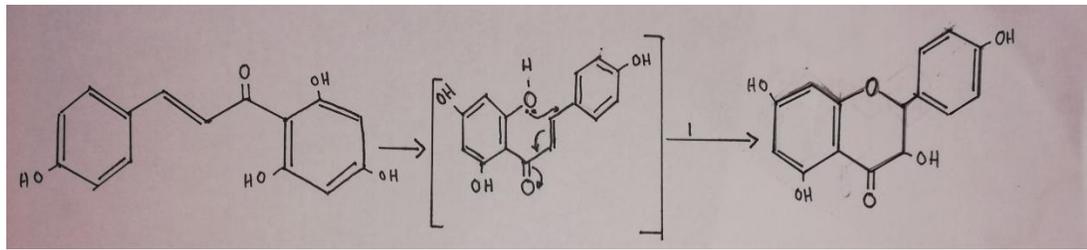
Activación de á-grasos

p-coumaril CoA

- Las chalconas se originan por un coplamiento del 4 hidroxicinamoli-CoA con tres moléculas de malonil CoA, estos dan forma a un intermediario que puede o no ser reducido en presencia de la **NADPH** (Nicotinamida adenina dinucleótido). Al final existe una Ciclación tipo Claisen que es catalizada por la chalcona sintetasa **CHS** formando el nuevo anillo para generar la Chalcona.

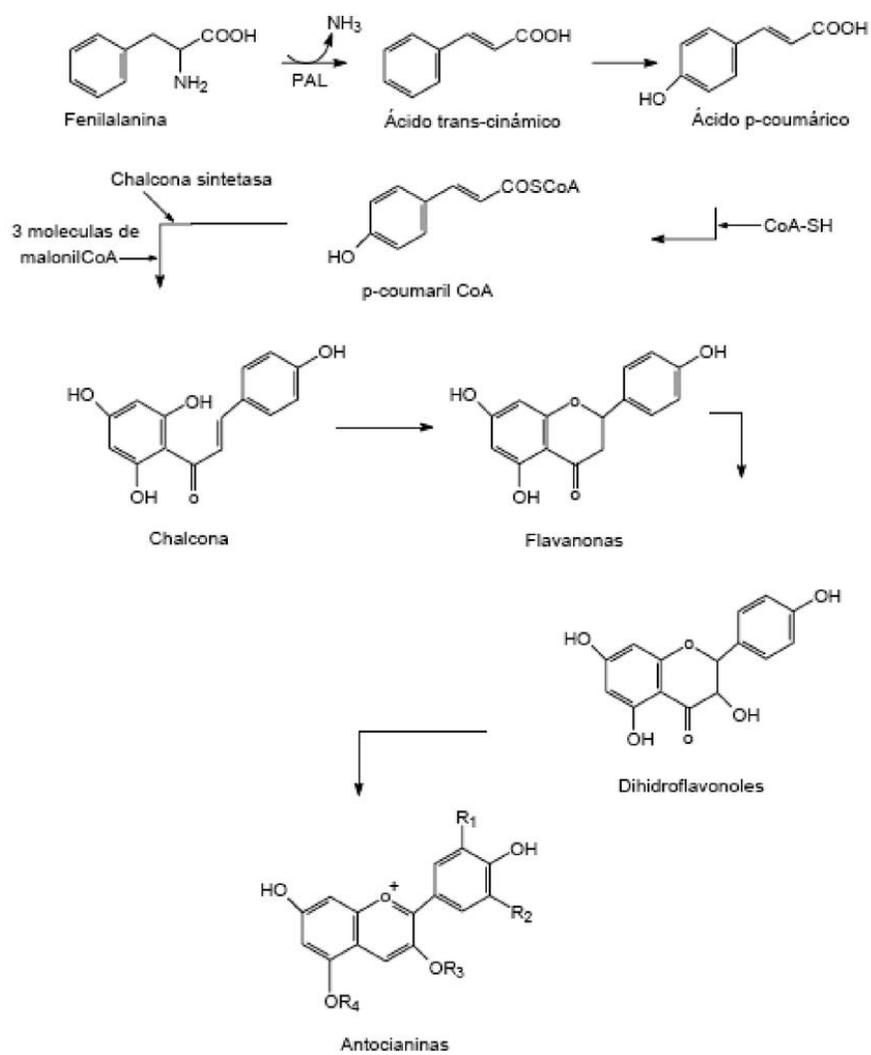


- Los flavonoides o isoflavonoides son producidos por la chalcona sintetasa (**CHS**) y la chalcona isomerasa (**CHI**), además de ser sintetizadas por ataques nucleofílicos de los hidroxilos al sistema β y α insaturados de las chalconas.



Narigenin chalcona Isomerización (CHS-CHI) Dihydroxiflavonoides

Figura II - 3 Ruta General de biosíntesis de las antocianinas



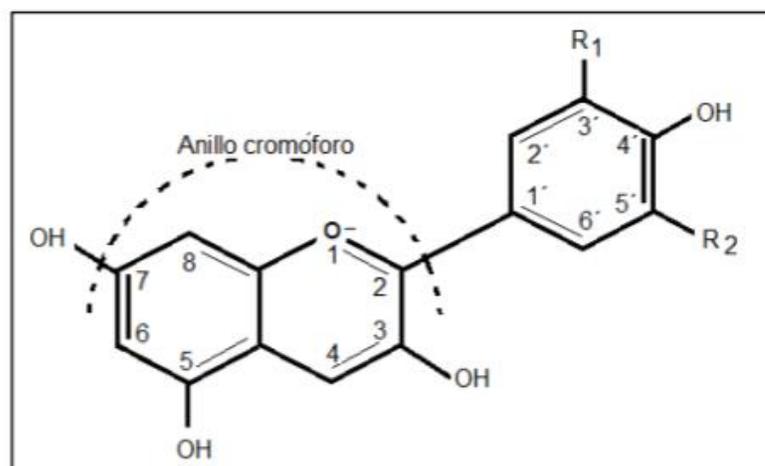
Fuente: Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (*Zea mayz* L.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina

Las antocianinas, al igual que otras sustancias polifenólicas, se encuentran en la naturaleza en forma de glicósidos, siendo conocidas sus agliconas como antocianidinas, a las cuales se les une un azúcar por medio de un enlace β -glicosídico. Se trata de flavonoides, es decir, sustancias derivadas del núcleo flavano, con un anillo-A benzoil y un anillo-B hidroxicinamoil.

2.5.1. ESTRUCTURA DE LAS ANTOCIANINAS

Formadas por el catión flávilo básico como se puede ver en la figura 4, tiene dos anillos bencénicos unidos por medio de un anillo heterocíclico y depende del tipo de antocianina; existen variaciones en algunos de los carbonos de los anillos bencénicos o del anillo heterocíclico.

Figura II - 4 Estructura y sustituyentes de las antocianinas



I - Pelargonidina	$R_1 = R_2 = H$
II - Cianidina	$R_1 = OH ; R_2 = H$
III - Peonidina	$R_1 = OCH_3 ; R_2 = H$
IV - Delphinidina	$R_1 = R_2 = OH$
V - Petunidina	$R_1 = OCH_3 ; R_2 = OH$
VI- Malvidina	$R_1 = R_2 = OCH_3$

Fuente: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1955/>

[Moreno%20Ulloa%20-%20Pizarro%20Urete.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1955/Moreno%20Ulloa%20-%20Pizarro%20Urete.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pueden clasificarse en base a la cantidad de moléculas de azúcar que posee; se divide en diferentes tipos:

- Los monósidos solo tienen una molécula de azúcar, generalmente en posición 3, rara vez en las posiciones 5 o 7, y nunca en otras posiciones.
- Los biósidos contienen dos azúcares, ambos en posición 3, o uno en 3 y el otro en 5 y muy pocas veces en 3 y 7.
- Los triósidos contienen tres azúcares, generalmente dos en posición 3 y uno en posición 5, frecuentemente.

2.5.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS ANTOCIANINAS

Las antocianinas son antioxidantes abundantes en la naturaleza, presentes en frutas y vegetales, cada una da una coloración diferente, esto se da debido a las posiciones de sus compuestos químicos. A medida que la antocianina contiene más grupos OH en su anillo benzoilo (B), su coloración va a ser más azulada (Miguel, 2006).

Las antocianinas se localizan en la piel de frutas como manzanas, peras, uvas, zarzamoras, ciruelas, rosas y verduras como col morada y maíz morado.

Tabla II - 4 Color y distribución de las antocianinas más comunes en diversas frutas y vegetales

Compuesto	Color	Fruta y Vegetal
Cianidina	Naranja a rojo	Mora, fresas, grosella negra, cereza, col morada, arándanos, uva, ciruelas, frambuesas, cebolla paiteña, maíz morado
Delfinidina	Azul a rojo	Mortiño, uva
Malvidina	Azul a rojo	Mortiño, uva
Petunidina	Rojo	Fresa, uva
Pelargonidina	Naranja	Fresas, maíz
Peonidina	Rojo	Cereza, arándano, camote, ciruelas

Fuente: Evaluación de métodos no térmicos sobre la estabilidad de las antocianinas del maíz morado (*Zea Mays L.*) frente a temperatura de pasteurización.

La función que cumplen es la de atraer seres vivos (principalmente insectos y pájaros) para propósitos de polinización y dispersión de semillas.

2.5.3. FACTORES QUÍMICOS QUE DETERMINAN EL COLOR Y LA ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS

Las ventajas de las antocianinas como sustitutos de los colorantes artificiales, su incorporación a matrices alimenticias, productos médicos y cosméticos, se limitan por su baja estabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento. Factores como su misma estructura química, temperatura, pH, luz y presencia de oxígeno, concentración y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad del pigmento.

- **EFFECTO DE LA TEMPERATURA:** Su valor puede degradar a las antocianinas. Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones endotérmicas. Resisten bien procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo. A temperaturas por encima de los 60 °C se degradan. En general las características estructurales que conducen a una mayor estabilidad al pH son las mismas que conducen a una mayor estabilidad térmica. (Henry Martínez Rivera, Citado por: *Fennema, 2000*).

La extracción de antocianinas de maíz morado a temperaturas entre 25 y 90 °C, obtuvieron mayor rendimiento de extracción a temperaturas entre 75 °C y 90 °C, dependiendo de las demás condiciones de extracción (**Gorriti Gutiérrez et al. (2009a y 2009b)**).

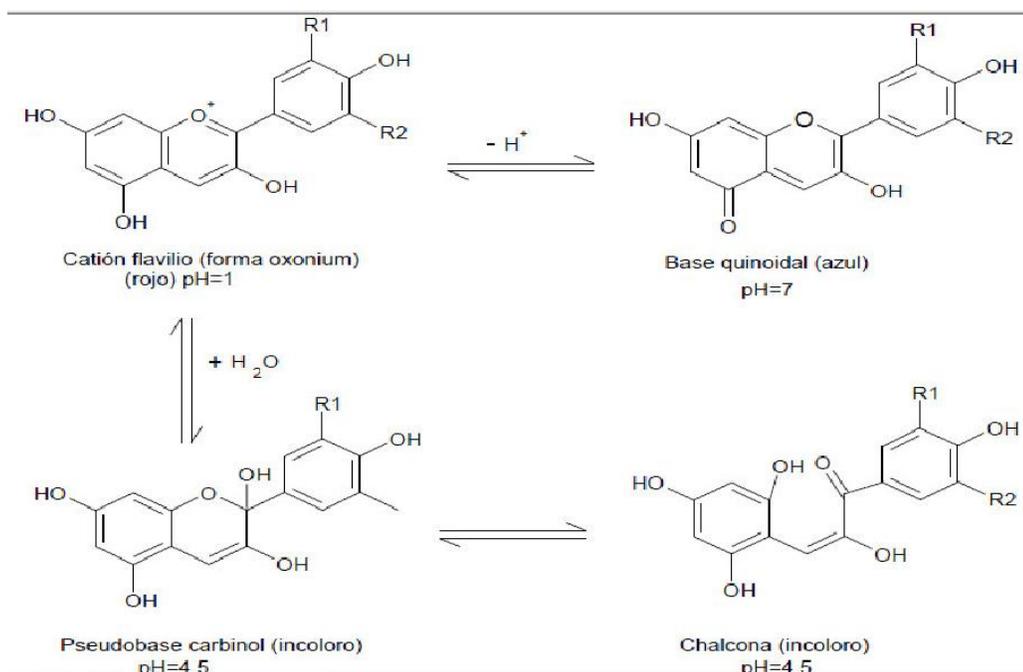
Temperaturas muy elevadas provocan un efecto desfavorable sobre la estructura de las antocianinas, especialmente durante un tratamiento térmico o el almacenamiento. Sin embargo, los mejores rendimientos de extracción de antocianinas de un determinado producto fueron a temperaturas altas.

- **EFFECTO DEL PH:** Las antocianinas pueden encontrarse en diferentes formas químicas, dependiendo del pH, es decir que este factor influye en su estructura y por lo tanto en su estabilidad (Figura II-5).

-

A pH 1 predomina el catión flavilio que es de color rojo y es la forma más estable de las antocianinas a valores de pH entre 2 y 4 ocurre la pérdida de un protón y adición de agua, encontrándose las antocianinas preferentemente bajo la formas quinodales de color azul.

Figura II - 5 Estructura de las antocianinas a diferentes valores de pH



Fuente: Utilización de la antocianina del maíz morado (*Zea Mays*L.) y stevia (*Stevia Rebaudiana* Bertoni) en la elaboración de un producto tipo mermelada y su aceptabilidad – Hugo Fernando Pérez Saóñi

A Ph entre 5 y 6 se observan las especies pseudobase carbinol, que es incolora y chalcona, de color amarillo ambas bastante inestables. A pH superiores a 7 se produce la degradación rápida de las antocianinas por oxidación con el aire. Por otra parte (Henry Martínez Rivera, citado por: *Bordignon et al. (2009)*) estudiaron la extracción de antocianinas de frutillas en el rango de pH de 1.0 a 13.0 y obtuvieron que la mejor extracción fue al valor más bajo de pH. Conociendo esto, las antocianinas tienen su máxima expresión de color a pH ácidos (pH1), y su forma incolora se produce a pH neutros o alcalinos; debido

a esta característica se utilizan a las antocianinas a pH ácido o ligeramente neutro en la industria alimenticia.

- **LUZ:** La luz afecta a las antocianinas de dos formas diferentes: es esencial para su biosíntesis, pero también acelera su degradación (Markakis, 1982; citado por *Rein, 2005*).

Las antocianinas conservan mucho mejor su color cuando son mantenidas en la oscuridad; la diferencia fue vista luego de mantener antocianinas por 24 horas en la luz y en la oscuridad a temperatura de ambiente a pH 2.3.

Al estudiar el efecto de la luz sobre la estabilidad de las antocianinas en extracto de frutos de espinaca blanca, concluyeron que la luz ejerce un efecto adverso sobre su estabilidad.

- **OXÍGENO:** Las antocianinas pueden oxidarse por reacción directa con oxígeno, o bien a través de una oxidación indirecta en la que éstas reaccionan con compuestos que han sido previamente oxidados, dando lugar a la formación de productos de color marrón o incoloro. También, pueden reaccionar con radicales de oxígeno actuando como antioxidantes. Estos mecanismos de oxidación se ven favorecidos cuando se eleva la temperatura (*Rein, 2005*).

Además se ha observado que en presencia de oxígeno, el ácido ascórbico destruye a las antocianinas, formando peróxido de hidrógeno

Las investigaciones de *Garzón y Wrolstad (2002)*, confirmaron la existencia de una mayor pérdida de antocianinas de fresa cuando está presente el ácido ascórbico, tanto en sistemas naturales como en sistemas modelo.

2.5.4. APLICACIONES: ANTOCIANINAS

Las Antocianinas dan color a bebidas, dulces y confites, productos de panadería, vegetales, conservas de pescado, grasas y aceites, mermeladas y jaleas, frutas confitadas y en almíbar, jarabes de frutas, sopas y saborizantes.

- Se usan en coloración de jugos de frutas y también en vinos y vinagres.
- En Japón se utilizan para colorear caramelos, helados y bebidas.

El uso farmacéutico de las Antocianinas es reconocido, por sus propiedades de incrementar la agudeza visual y mejorar la visión nocturna; para el tratamiento de diversos trastornos de circulación de la sangre (Colesterol) y recientemente se concluyó que el principio activo del Maíz Morado, evita la presencia de cáncer al intestino grueso

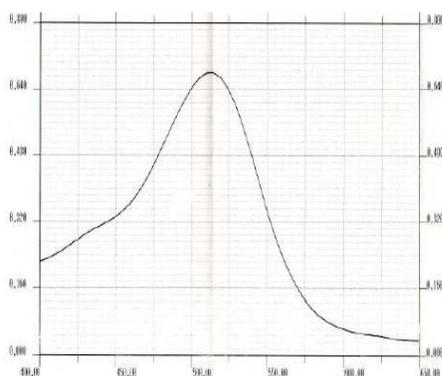
Gracias a esta capacidad antioxidante, las antocianinas son catalogadas como agentes nutracéuticos. Varios trabajos reportan sus efectos benéficos al prevenir la proliferación de células cancerígenas, protección contra enfermedades del corazón y prevención del daño a lípidos de alimentos.

Debido al interés de la sustitución de los colorantes sintéticos por su posible toxicidad, se han buscado nuevas fuentes de colores naturales, como las antocianinas presentes en las tusas pigmentadas (Zea Mays).

2.5.5. MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV

Las sales de antocianinas de alta coloración en una solución ácida poseen dos absorciones máximas, una en la región visible entre los 465 y 550 nm, y otra menos intensa en la región ultravioleta entre los 270 y 280 nm (ACEVEDO, 2003)

Figura II - 6 Rastreo de la longitud de onda máxima de absorción del extracto colorante de la coronta de maíz morado



Fuente: Jenny Fernanda Almeida, Ingeniera Agroindustrial - <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4732/1/CD-4367.pdf>

El espectro de absorción de los flavonoides se caracteriza por tener dos bandas separadas, una a longitudes de onda larga determinada por la conjugación del anillo B, y la segunda en la región ultravioleta determinada por la conjugación del anillo A. A mayor sustitución del anillo B, la absorbancia máxima de las antocianinas se desplaza hacia el extremo rojo del espectro (ACEVEDO, 2003).

Las antocianinas del tipo de las cianidinas tiene un rango máximo de absorción de 520 a 550 nm, que indica que las antocianinas que se hallan en mayor proporción en la coronta de maíz morado son las cianidinas, con mayor seguridad se podría afirmar que es la cianidina 3- β glucósido.

2.5.6. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS

EXTRACCIÓN POR SOXHELT

Este método de extracción funciona por ciclos evaporando y condensando el solvente; permite una mayor concentración de la solución; el mismo debería ser alcohol por su bajo punto de ebullición, ya que si usara agua estaría hirviendo a 100 °C por un periodo largo lo que traería como consecuencia la degradación de las antocianinas debido a su poca estabilidad a la temperatura.

EXTRACCIÓN POR MACERACIÓN

Esta extracción es una de las más sencillas, ya que la materia prima se somete a una disolución del soluto en el solvente, dejando reposar hasta que el solvente penetre en la estructura celular y disuelva las porciones solubles, controlando continuamente la temperatura y la duración del proceso.

Se recomienda que la maceración se efectúe a temperaturas de 15 a 20°C, ya que si el tiempo es muy prolongado se puede producir una aceleración en la carga microbiana, y será necesario el uso de conservantes para evitar dicho proceso. La ventaja es que produce una concentración uniforme pero, es muy laborioso dado que se necesita tiempos prolongados para conseguir buenos rendimientos.

EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Este método emplea sonidos de alta frecuencia que hacen que las partículas sólidas y líquidas vibren y se aceleren ante la acción ultrasónica; como resultado, el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente, las ondas de ultrasonido producen el efecto de cavitación que facilita la erosión del soluto de la interface superficial de la planta con el fin de desprender el compuesto del material vegetal; como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente.

Durante la etapa de extracción con el empleo del US, es necesario evaluar un grupo de parámetros que pueden garantizar una adecuada y rápida extracción de los compuestos bioactivos. Estos se clasifican en dos grandes grupos: parámetros de operación y extracción. (*LE Robles-Ozuna, 2012*)

Tabla II - 5 Parámetros durante la extracción asistida por Ultrasonido

Parámetros de operación	Parámetros de extracción
Configuración del reactor sonoquímico	Temperatura
Frecuencia e intensidad de la radiación	Tipo de disolvente
Tiempo de sonicación	Relación soluto-disolvente

Fuente: Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 45. <http://www.redalyc.org/toc.oa?id=1816&numero=32610>

2.5.7. ETAPA DE EXTRACCIÓN - DIAGRAMA DE ETAPA DE EXTRACCIÓN

- Molienda

Se realiza empleando un molino de martillo y cuchillas según sea el caso, con el objeto de aumentar la superficie de contacto interfacial entre soluto y solvente, y por lo tanto, aumentar la velocidad de extracción.

- Extracción

Separar las antocianinas de la coronta del maíz morado con disolventes apropiados.

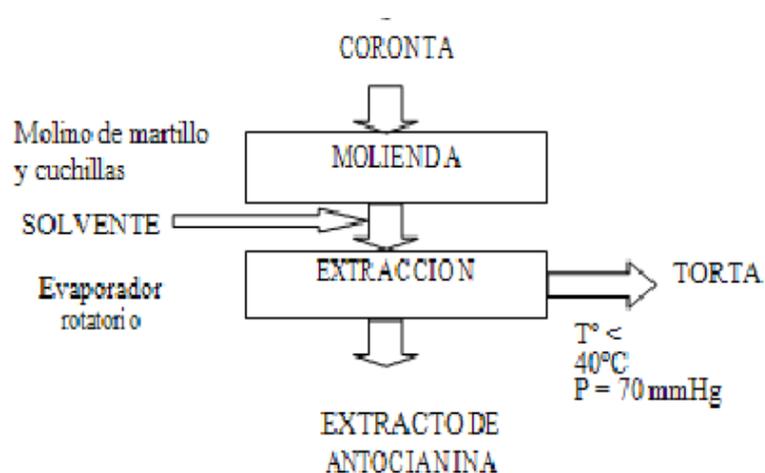
La extracción de la antocianina se realiza mediante dos métodos:

La primera, por maceración para determinar parámetros de extracción y la segunda, por calentamiento para aumentar la eficiencia de extracción.

Esta operación se realiza en un evaporador rotatorio a una temperatura menor de 40°C y a una presión de vacío de 70 mm de Hg.

Para la extracción del colorante de maíz morado (antocianina), se utiliza el siguiente flujo general de operaciones como referencia.

Figura II - 7 Flujo general de operaciones para la obtención de antocianinas de maíz morado



Fuente: Fernández (1995) - <https://docplayer.es/8502879-Clasificacion-arancelaria.html>

2.5.8. INFLUENCIA DE PARÁMETROS EN EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS DE LA CORONTA

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

Fernández (1995), realiza la extracción sobre la materia prima partida obtenida por molienda gruesa en el molino de martillo y coronta molida en un molino de disco a tres tamaños de partícula (10, 5 y 2 mm)

Tabla II - 6 Influencia del tamaño de partícula en la extracción de Antocianinas

Dp (mm)	mg Antocianina/100 g coronta
Sin moler	625.90
10	795.8
5	896.2
2	947.05

Fuente: Fernández, N.A. (1995.)

Dp: Diámetro de partícula

Para este rango de tamaño de partícula se observó que la cantidad de antocianinas extraídas aumenta a medida que el tamaño de partícula disminuye.

INFLUENCIA POR MACERACIÓN.

Influencia del tiempo de maceración

Los resultados de las pruebas realizadas por Fernández (1995), determinan que a medida que aumenta el tiempo de maceración aumenta la cantidad de colorante.

Tabla II - 7 Influencia del tiempo de maceración en extracción de antocianinas.

TIEMPO (hr)	AcyT(mg/100)	RENDIMIENTO (%)	S.T. (%)
1	490.33	91.59	0.5665
3	499.80	93.36	0.5932
6	525.15	98.00	0.6152
12	532.48	99.47	0.6165
24	535.34	100.00	0.6230
48	515.07	96.21	0.6590

Solvente: agua desionizada

m/s: 1/20

Extracción en una sola etapa

Tomado como 100% la extracción con 24 horas de maceración.

Fuente: Fernández (1995)

ST: Sólidos totales

AcyT: Antocianinas totales

El máximo de extracción se logra con 24 horas de maceración; sin embargo con tiempos de 6 y 12 horas se obtienen cantidades de antocianinas cercanas al valor máximo.

Por otra parte, el empleo de tiempos prolongados de maceración no son convenientes ya que se extraen otros componentes como azúcares, pectinas, ácidos, sales, taninos, etc. y asimismo, facilitan el crecimiento de microorganismos; esto explica el aumento de sólidos totales en el extracto.

Influencia de la relación materia prima / solvente de extracción

Los resultados de los ensayos realizados, muestran que a medida que se incrementa el volumen del solvente, aumenta la extracción de antocianinas.

Tabla II - 8 Influencia de la relación materia prima / solvente de extracción

Relación m/s	AcyT (mg/100)	S.T. (%)
1 / 4	175.17	1.9092
1 / 8	260.00	1.2094
1 / 10	272.20	0.9720
1 / 12	321.30	0.8983
1 / 16	333.20	0.6530
20	373,20	0,5172

Solvente: agua desionizada

Extracción en una etapa

Fuente: Fernández (1995)

En cuanto a los sólidos totales se observa una relación inversa entre el volumen de solvente utilizado en la extracción y la concentración de sólidos totales en el extracto.

Influencia de la temperatura

El resultado de la influencia de la temperatura de extracción, obtenido por Fernández (1995.), muestra que, tanto los sólidos totales como la cantidad de antocianinas totales se incrementan en relación directa con la temperatura de operación.

Tabla II - 9 Influencia de la temperatura en la extracción de antocianinas.

T °C	AcyT(mg/100)	S.T. (%)	DC
4	501.12	0.500	2.351
10	508.60	0.5975	2.350
20	532.48	0.6176	2.204
40	613.14	0.6405	2.018

Solvente: H₂O : H₂SO₄

m/s: 1/20

DC: Degradación del color

m/s: Relación soluto solvente

Fuente: Fernández (1995)

De otra parte, a la temperatura de 40 °C se observa una degradación del color.

Fernández observó que en la extracción a temperatura de 40 °C se presentan signos de deterioro microbiano y una pérdida de color por degradación térmica de aproximadamente 15 %, por lo que descartó esta temperatura. Si bien el extracto a 4° C no sufrió alteración microbiana alguna, la cantidad de antocianinas totales presentes fueron mucho menores que el macerado a la temperatura ambiente. Por lo tanto eligió como temperatura adecuada la de 10 °C.

2.6.ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

De acuerdo a revisión bibliográfica, se realizaron diversos trabajos en cuanto a la extracción de antocianinas de la coronta de maíz morado; a continuación se detallan los siguientes:

A. Encapsulación, caracterización y estabilidad térmica de antocianinas de la coronta Zea mays L (maíz morado, 2016).

La materia prima fue reducida a un tamaño de partícula de 2 mm utilizando un cernidor con tamaño de poro de 20 Mesh. La extracción se realiza con una mezcla de etanol al 60 % acidificado con 0,5 % de HCl en una relación soluto-solvente de 1:10, a una temperatura de 50 °C y un tiempo de extracción de 3 hr. El número óptimo de extracciones para lograr la máxima eficiencia fue de 2 con una agitación de velocidad media. El extracto obtenido se filtró y se concentró a una temperatura de 40 °C. Se determina el contenido de antocianinas totales expresado como cianidina-3-glucósido mediante el método de pH diferencial de acuerdo a Giusti & Wrolstad utilizando un espectrofotómetro UV-VIS.

Mediante el proceso de extracción se determina el contenido de antocianinas totales en la harina de coronta de maíz morado. El proceso de extracción mostró que después de una segunda extracción se obtuvo una concentración de antocianinas de 104mg antocianinas totales/g de harina de coronta y el rendimiento de extracción acumulado (Eficiencia de extracción) fue de 87,9 %. (Evelyn V. Mendoza Sillerico, 2016).

B. Extracción de antocianinas de las corontas de zea mays l. “maíz morado” con alcohol al 40% a ph 2 y 4 factores que influyen en el rendimiento del colorante

Preparación del extracto y determinación de antocianinas

Se pesa 1.25 g de coronta de maíz morado trozado en la balanza analítica, el cual se colocó posteriormente en un vaso de precipitado al cual se le añadió solución etanólica al 40 % de 120 ml y pH 2 y 4 ajustados con HCl concentrado, la cual se lleva a calentar hasta notar una fuerte coloración del solvente, evitando su total evaporación. Los extractos obtenidos fueron filtrados con papel filtro Whatman N°1.

Los resultados de los tratamientos realizados con parámetro de variación de pH son los siguientes:

Tabla II - 10 Variación de pH

pH	Peso-coronta (g)	Antocianinas (mg/g coronta)
2	0,126	100,8
2	0,127	101,6
2	0,126	100,8
4	0,130	104
4	0,130	104
4	0,129	103,2

Fuente: Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea Mays L.* “maíz morado” con alcohol al 40 % a pH 2 y 4, Aguilar J. Gisela M., Arohuanca P. Yanderyn L.

La disolución que se obtuvo se colocó en tubos de ensayo para su centrifugación por un tiempo de 20 minutos, se extrajo el sobrenadante y al precipitado se llevó a secado siendo este el colorante.

C. Extracción de antocianinas de las corontas de *zea mays l.* “maíz morado” (Arilmí Gorriti Fredy Quispe, 2009).

Preparación del extracto y determinación de antocianinas según el método de pH diferencial

Se pesó 2,5 g de coronta de maíz morado molida y tamizada a Ø de 1 mm extraídos con 200 mL de agua destilada y solución etanólica al 20 y 40%, pH 2,3 y 4 ajustados con HCl concentrado, durante tiempos de extracción de 30, 60, 120 y 240 minutos, a temperaturas 25, 60, 75 y 90 °C. Los extractos obtenidos son filtrados utilizando papel filtro Whatman con la ayuda de un equipo de vacío. Una alícuota del extracto se diluyó en una fiola de 25 mL con soluciones buffer de cloruro de potasio (pH 1) y acetato de sodio (pH 4,5). En las soluciones preparadas se determina el contenido de antocianinas según el método de pH diferencial, de acuerdo a Giusti & Wroslad (2001) utilizando espectrofotómetro UV-VIS y su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Total antocianinas (mg/L)} = A \times PM \times FD \times 1000 / (\epsilon \times l)$$

A = absorbancia

PM = peso molecular

FD = Factor de dilución

ϵ = Coeficiente de extinción molar

Los factores estudiados son pH, solvente, tiempo y temperatura. Los resultados mostraron antocianinas entre 8,404 y 47,984 mg/g de coronta, determinados según el método de pH diferencial.

D. Sustitución parcial de la harina de coronta de maíz morado (Zea mays L.) por harina de trigo en las características tecno funcionales del pan artesanal (Moreno Ulloa, Sandra Gris, Pizarro Ureta, Yolanda Edelmira, 2013)

En el presente trabajo se utilizó la harina de coronta maíz morado (Zea mays L.) variedad negro de Junín del departamento de Arequipa comercializado en el mercado mayorista “Señor de Muruhuay” – Tarma, de las cuales se obtuvo harina de la coronta con una humedad (11.3%) índice de finura (3.412), y antocianinas monoméricas (Tacys) 2438.5 mg/100 g; esta harina se utilizó en la formulación y elaboración de pan artesanal al 5 %, 10 % y 15 % de sustitución con respecto a la harina de trigo

E. Extracción de antocianinas a partir de Coronta de maíz morado (Zea mays L.) para el aprovechamiento de residuos agrícolas” (Autor: Manzano Naranjo Pedro Andrés – 2016)

Se mezcla la muestra de coronta de Maíz Morado molida con etanol al 20 % acidificado (pH 2) en una relación de 1:160 y 1:80 (M/V) y se calentó a 50 °C y 90 °C por 1 y 3 horas en un termostato (Isotemp, USA) utilizando un balón redondo acoplado a un tubo refrigerante para evitar la pérdida de solvente. Se filtró la solución resultante y se dejó enfriar.

Se evalúa el efecto de la temperatura, tiempo de extracción y relación material vegetal-volumen de solvente para obtener la mayor concentración de antocianinas. Los mejores resultados de concentración de antocianinas y rendimiento se dan con

una relación material vegetal-volumen de solvente de 1:80 (M/V), un tiempo de extracción de 1 hora y una temperatura de 90 °C, logrando una concentración de 234,870 mg/L, o 187,9 mg/g de coronta.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La coronta de maíz morado no es empelada para ningún fin comercial a Nivel nacional ni regional y para darle un valor agregado a la misma se consideró importante su aplicación en la elaboración del colorante Natural (Antocianinas) o llamado comercialmente E-163; al poseer un alto valor antioxidante se convierte en una opción sana a comparación de los colorantes artificiales; en Bolivia, EE.UU y Europa el colorante de Maíz morado aún no cuenta con regulaciones para su consumo (Michel Castle, Imbarex, Mexico, 2018).

Para la determinación de antocianinas totales se procuró tener el mayor rendimiento en cuanto a la extracción por lo que era necesario tener un extracto rico en antocianinas. Las variables a considerar pueden ser numerosas por eso es necesario descartar la mayor cantidad de ellas, haciendo pequeñas pruebas y comparando datos bibliográficos que permitan elegir de manera adecuada las que se emplearán en la fase experimental.

La primera parte de la etapa experimental se basa en la selección del solvente más adecuado para la extracción, para ello se realiza las extracciones con etanol 96 %, agua pura y una concentración de etanol al 60 % datos que se toman de bibliografía para su estudio; la selección se efectúa de manera cualitativa.

La segunda parte consta de la selección de método de extracción, empleando dos equipos diferentes: primero el baño por ultrasonido y el segundo por agitador magnético que operaba a una velocidad media; finalizadas las etapas extractivas se elige la etapa más adecuada de acuerdo al rendimiento.

Finalmente se evalúan las variables presentes en el diseño experimental elegido $2^2 \times 2$ y variable que estaría constante en el proceso para la determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial.

3.1.1. RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA (CORONTA)

El estudio se realiza con la coronta de maíz morado de la variedad (Zea mayas) procedente del departamento de Potosí – Municipio de Santa Rosa, que se encuentra a 20min en movilidad del centro de la ciudad de Tupiza, por ser esta la variedad que posee una mayor concentración de antocianinas totales por lo que se posee un gran potencial para la obtención de extractos ricos en este componente.

Figura III - 1 Ubicación Geográfica del municipio de Tupiza – Santa Rosa



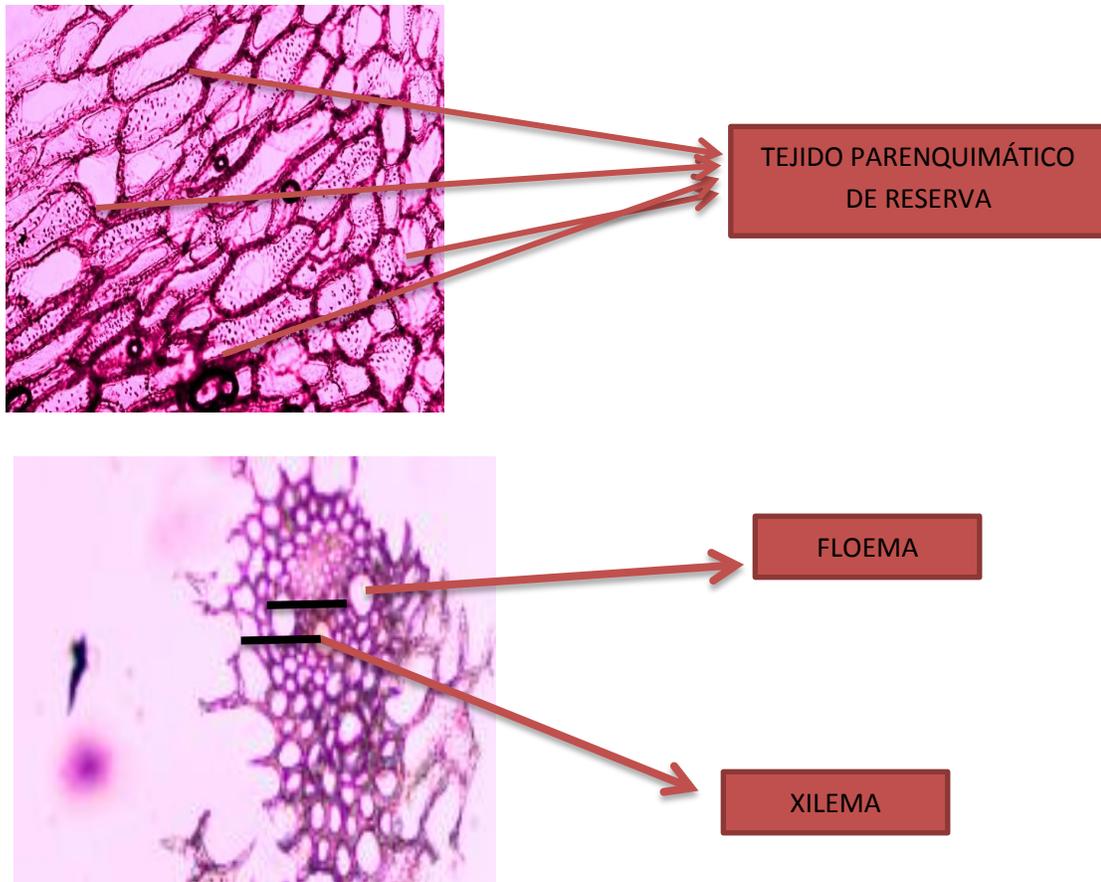
Fuente: Elaboración propia, Google Maps, marzo 2018.

3.1.2. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DEL COLORANTE (ANTOCIANINAS) EN LA CORONTA

Es un procedimiento externo que permite tener un mejor conocimiento sobre la ubicación del colorante a nivel microscópico en la materia prima (Coronta), el aumento en el microscopio ocular fue de 20x(as vascular) en la primera fotografía y de 40x en la segunda (tejido parenquimático)

Para poder observar el tejido parenquimático de la coronta de maíz se hizo un corte de manera horizontal con un bisturí; la coronta debe estar tierna para poder analizarla. Al tener su color característico no fue necesaria la adición de algún tinte.

Figura III - 2 Vista microscópica del colorante natural de la coronta de maíz morado



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biología – Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

La antocianina se almacena alrededor del tejido parenquimático y del tejido de resistencia esclerenquimático más conocido como fibra; las antocianinas se encuentran almacenadas por encima del tejido, dando el característico color guindo propio de la coronta; por lo tanto para la extracción de la antocianina es necesario un

barrido con un solvente polar cualquiera sea el método que pueda dar los mejores rendimientos

3.2.DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS VARIABLES DE PARTIDA

Para poder definir el solvente adecuado, se trabajó con alcohol al 96 %, al 60 % y agua pura. Se debe elegir el solvente que tenga la mayor capacidad de extracción y además del método de extracción que permita una mayor cantidad de antocianinas totales para su posterior evaporación.

3.2.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLVENTE

De acuerdo a información recabada de bibliografía, las extracciones de antocianinas se realizan con concentración de etanol al 40 y 60 %, ninguna de ellas trabaja con etanol al 96 % o agua pura como solvente. Por lo tanto se determina lo siguiente:

Tabla III - 1 Elección del solvente

Solvente	Ventajas	Desventajas
Agua	Económicamente resulta más barato y de fácil acceso. No altera las propiedades de la materia prima. El color se extrae rápidamente.	No proporciona una buena mezcla con la coronta, la extracción no es tan eficaz. Parte de la coronta queda en suspensión en el agua.
Etanol 96%	No es una sustancia controlada. Económicamente es más cara que el agua pero es fácil de conseguir. La coronta se sumerge por completo en el solvente de manera inmediata.	No se extrae rápidamente el color. Se evapora rápidamente cuando se trabaja a elevadas temperaturas.
Etanol 60%	Económicamente es barato y fácil de preparar	No llegan soluciones preparadas así; se deben preparar por el

3.2.2.1.RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se recoge de la comunidad de Tupiza ya desgranado, se observa que el secado de la espiga es de manera artesanal en el suelo y una vez seca se procede al desgranado de manera manual o por aplicación de peso (Pisar con los pies). Se tarda un tiempo de 3 semanas en recoger la muestra la cual se mantuvo sobre alguna superficie que evite el contacto con el suelo.

No se toma mayores precauciones en esta etapa por dos motivos: el primero que el grano es el que tiene mayor y completa superficie de contacto con el suelo y no la coronta, por ultimo porque se desea tener las condiciones reales anteriores al desgrane.

Figura III - 3 Nylon de 3x4 metros – Secado del Maíz



Fuente: Elaboración propia

- **CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Para caracterizar la materia prima se determinan parámetros como ser: Humedad, Fibra, Cenizas, en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. CEANID.

Tabla III - 2 Características de la materia prima

Propiedades para 100 g de coronta	Fuente	Valor
Humedad	CEANID	9,13 %
Densidad aparente	Elaboración propia	0,25 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Se determina de manera particular la densidad aparente de la Coronta molida (revisar anexo K) , dado que esta puede variar, se debe repetir la prueba varias veces y luego establecer el valor medio ya que las partículas de aire se encuentran entre las partículas de coronta molida.

3.2.2.2. SELECCIÓN DE LA CORONTA Y ELIMINACIÓN DE RESTOS DE MAÍZ.

Se elimina todos los granos de manera manual y residuos externos post-cosecha, como partículas de tierra y suciedades con una secadora.

Las coronta elegidas poseen mejores condiciones físicas (Más coloreadas, menos deterioro por el transporte, enteras en su mayoría) y se pesa con balanza analítica (especificación técnica, ANEXO I) una cantidad no mayor a 105,36 g.

Figura III - 4 Selección de las corontas y pesaje



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. TRITURACIÓN MANUAL DE LA CORONTA CON MARTILLO

La coronta es triturada de manera manual con el martillo, sobre un nylon para evitar la menor pérdida de materia. Una de las características físicas de la coronta cuando está entera es su textura similar a la del plastofomo la cual impide emplear el molino de bolas para su ruptura.

- Por último se planteó pasar la coronta por un molinillo manual de cocina pero sin éxito por la dureza del mismo.

La fuerza aplicada para la trituración de la coronta es mínima para evitar bajos rendimientos en el molino de bolas.

Figura III - 5 Trituración con martillo



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4. MOLIENDA DE LA CORONTA

Se pesa con balanza analítica 102,5 g de materia prima a utilizarse durante la etapa de molienda esto con la finalidad de calcular rendimientos y pérdidas durante el proceso de obtención.

Se realizan 3 etapas de molienda para determinar los tamaños y cantidad de bolas de acero para obtener un mayor rendimiento en el tamaño de 2 mm. (Ver especificaciones, ANEXO I)

En su mayoría se requiere de 3 pasos por el molino de bolas, lo que quiere decir que existe recirculación del tamaño ≥ 4 mm cada vez que se realiza la etapa de tamizado, hasta lograr la menor cantidad de coronta en la última zaranda (4 mm); no olvidar que

este último no es un producto de residuo ya que puede ser utilizado en una posterior molienda para llegar a la cantidad de coronta para la misma etapa.

Figura III - 6 Molino de bolas – Coronta de maíz morado



Fuente: Elaboración propia

Dada la información bibliográfica contenida en el capítulo I se puede verificar que el tamaño óptimo para la mayoría de las extracciones es de 2 mm (Tamaños menores incrementan los sólidos totales en el extracto), además que las empresas como Ayacucho en Perú y Chr-Hensen en Brazil emplean este tamaño para la extracción de colorantes naturales.

3.2.2.5.GRANULOMETRÍA TAMIZ VIBRATORIO

El tamaño fijado es de 2 mm, se empleó las zarandas de 0 – 1- 2- 4 mm, que cumplen con la norma española (UNE), el tiempo de vibración media (2) es de 5min en cada una de las etapas.

Para pesar la serie de tamices en el análisis granulométrico de la muestra de coronta se utilizó una balanza de triple astil (Ver especificaciones, ANEXO I)

Granulometría 0-1-2-4 mm

Granulometría 0-1-2-4 mm



Foto 1 (UNE N° 5)



Foto 2 (UNE N° 10)



Foto 3 (UNE N° 18)



Foto 4 (UNE N° 325)

Fuente: Elaboración propia

Foto 1: Coronta 4 mm – abertura en ASTM 4,00

Foto 2: Coronta 2 mm – abertura en ASTM 2,00

Foto 3: Coronta 1 mm – abertura en ASTM 1,00

Foto 4; Coronta 0 mm – abertura en ASTM 0,044

3.2.2.6. EXTRACCIÓN CON SOLVENTE

- **Pesado de la muestra:** Se pesa con balanza analítica (Ver especificaciones, ANEXO I) 2 g de la coronta a emplearse durante la etapa de extracción, con la finalidad de poder determinar los rendimientos de extracción.

Figura III - 7 Pesado de la muestra Balanza Kern ABS



Fuente: Elaboración propia

- **Extracción con solvente:** La etapa de extracción se realiza en un baño de ultrasonido; primeramente se acondiciona el equipo para poder realizar la extracción, el mecanismo en el que se realiza la etapa se detalla a continuación:

Figura III - 8 Baño de ultrasonido, etapa de extracción



Fuente: Elaboración propia

Se adiciona 24 ml de etanol al 60 % (variable permanece constante en ambas extracciones) para someter la coronta a un baño de inmersión, la temperatura del equipo es de 40 °C (la temperatura no afecta con las propiedades de la materia prima

ni del producto final) y el tiempo de extracción es de 1 hora. (Especificación técnica ver anexo I).

3.2.2.7.FILTRACIÓN AL VACÍO

La filtración al vacío se realiza con una bomba de vacío mediante una filtración simple en la cual se emplea como medio filtrante un embudo Bushner conectado a un kitasato, el papel filtro empleado para la filtración es de 0,110 mm de espesor.(ver especificación técnica en Anexo I)

Figura III - 9 Etapa de filtración y coronta desgastada



Foto 1

Foto 2

Fuente: Elaboración propia

La fotografía N°1 filtración al vacío

La fotografía N°2 Coronta después de la etapa de filtración.

- **EXTRACTO DE ANTOCIANINAS**

El colorante obtenido después de la etapa de filtración se almacena en frascos para la posterior etapa de cuantificación de antocianinas

Figura III - 10 Extracto obtenido por ultrasonido



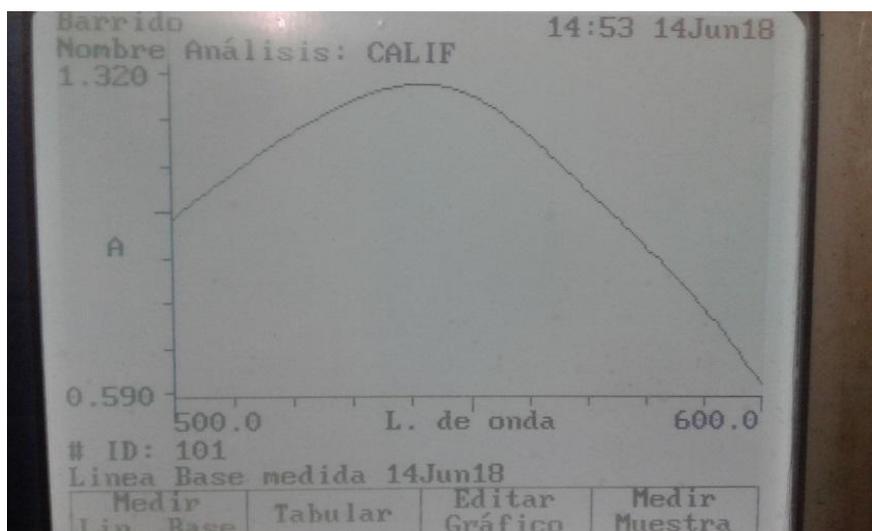
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.8. CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS

- DETERMINACIÓN DE λ_{Max}

Para poder determinar la longitud de onda máxima de los concentrados se debe hacer un barrido en el espectrofotómetro; como bien se menciona en bibliografía, la banda de absorción de las antocianinas varía de 490 a 550 nm, se realiza un barrido de 500 a 600nm y se determina que la banda de absorbancia es de 543 nm para todos los extractos.

Figura III - 11 Banda de absorción



Fuente: Elaboración propia

Este dato es necesario ya que el método de pH diferencial lo requiere en su cálculo.

- MÉTODO DE pH DIFERENCIAL

Es una técnica que permite cuantificar la cantidad de antocianinas totales en extracto sólido-líquido.

Los pigmentos de antocianinas sufren transformaciones estructurales reversibles con un cambio en pH visible por espectros de absorbancia diferentes. La forma coloreada del oxonio predomina a pH 1.0 y la forma hemiacetal incolora a pH 4.5. El método del pH-diferencial se basa en esta reacción, y permite la medida exacta y rápida de las antocianinas totales. (Ver protocolo, ANEXO G).

Se diluye 0,1 ml de extracto en 2,9ml de solución buffer pH 1 y 4,5 respectivamente (Ver receta, ANEXO H), la absorbancia debe estar comprendida en un rango de 0,1 a 1 para la solución buffer de pH 1.

Figura III - 12 0,1 ml de muestra en 2,9 ml Buffers pH 4,5 y 1



(a) (b)

Fuente: Elaboración propia

(a) Solución Buffer con extracto a pH 4,5

(b) Solución Buffer con extracto a pH 1

3.2.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ANTOCIANINAS POR AGITACION MAGNÉTICA

El siguiente diagrama proporciona información acerca de la segunda experiencia realizada, para poder determinar que etapa de extracción será la más adecuada para realizar el diseño factorial y el proceso más óptimo.



Fuente: Elaboración propia

Descripción:

Al igual que el proceso anterior se realizaron las mismas etapas tanto de recepción de la materia prima, selección de las corontas y eliminación de restos de maíz, trituración de manual de la coronta con martillo, molienda de la coronta y granulometría en el Tamiz vibratorio.

Posteriormente para la etapa de extracción se trabaja con un agitador magnético a diferencia del proceso anterior que utiliza un equipo de extracción por ultrasonido.

i. ETAPA DE EXTRACCION**- Pesado de la muestra**

Se pesa con balanza analítica 2 g de la coronta a emplearse durante la etapa de extracción, con la finalidad de poder determinar los rendimientos de extracción.

Figura III - 13 Pesado de la muestra Balanza Kern ABS



Fuente: Elaboración propia

- Extracción con solvente

Se adicionan 24 ml de etanol al 60 % en el vaso precipitado que contiene la coronta y se lleva al agitador magnético con una velocidad de 500 rpm (Ver especificación técnica en anexo I) a una temperatura de 40 °C durante el tiempo de una hora (las características del colorante no deben alterarse y la pérdida del solvente debe ser mínima debido a que este tiene un p.e. de 78 °C).

Figura III - 14 Extracción con solvente - Agitador magnético



Fuente: Elaboración propia

ii. FILTRACION AL VACÍO

La filtración al vacío se lleva a cabo de la misma manera que el realizado en el punto 3.2.2.7.

- Extracto de antocianinas

El colorante obtenido después de la etapa de filtración se almacena en frascos para la posterior etapa de cuantificación de antocianinas

Figura III - 15 Extracto obtenido por agitación magnética



Fuente: Elaboración propia

La concentración de la extracción realizada por agitación magnética es mayor a la obtenida por ultrasonido.

iii. CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS

La cuantificación de antocianinas totales se lleva a cabo de la misma manera que en el punto 3.2.2.8.

3.2.4. SELECCIÓN DE LA ETAPA DE EXTRACCIÓN

Una vez realizadas ambas extracciones, bajo las mismas condiciones de trabajo, se determina cuál de las dos etapas es la que proporciona mayores rendimientos para poder operar con las variables correspondientes según el diseño factorial.

La etapa de selección se observa en la siguiente tabla:

AT: Antocianinas Totales en 1 g de coronta

Vol: Volumen de extracto

T: temperatura

t: Tiempo

Tabla III - 3 Selección del método más adecuado

ETAPA	R	T (°C)	t hr	Etapas	ΔA	ATT mg /1g	Rendimiento %
Baño de ultrasonido	1:12	40-42	1	1	0,0663	11,100	1,11
Agitación magnética	1:12	38-43	1	1	0,095	15,863	1,59

Fuente: Elaboración propia

R: Relación soluto/solvente

T: temperatura

t: Tiempo

ΔA: Absorbancia: (A543 – A700) pH 1 – (A543 – A700) pH 4,5

ATT: Antocianinas totales

La extracción de antocianinas por el método de agitación magnética es 0,5 % más efectiva que el baño por ultrasonido debido a que el sonicador no tiene variación de frecuencia cuando se está operando y por lo tanto la variable manipulable del equipo tendría que ser el tiempo de extracción.

3.2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es realizado en la etapa de calentamiento (Temperatura), en la fijación del pH previa etapa de maceración y en la relación sólido/soluto.

$$2^2 = 2 * 2 = 4$$

Los factores que se eligieron y su dominio en la etapa de Extracción de antocianinas de la coronta de maíz morado se detallan a continuación:

Tabla III - 4 Niveles de los factores

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
Ph	2,5	3,5
Temperatura	20	40

Fuente: Elaboración propia

Temperatura (T)

La temperatura puede afectar a la extracción de las antocianinas ya que dependiendo de su valor puede existir una degradación de las mismas disminuyendo el rendimiento del proceso, además que al usar etanol como solvente este se puede evaporar y reducir la cantidad de extracto si no se toma las medidas preventivas correspondientes.

pH

Una de las características de los colorantes naturales (Antocianina) es el pH, los establecidos por las empresas Imbarex, Farbe (México) y Granvelada (Brazil) de materia prima que no contiene una cantidad elevada de azúcares como la uva y la mora son:

Zanahoria negra: 2,5 a 4 liq

Maíz morado (Zea Mays): 2– 4 liq

Un extracto obtenido a pHs superiores a 4 puede producir una degradación acelerada de las antocianinas y provocar una baja en el rendimiento extractivo, pHs inferiores a 2 afectan las características sensoriales de la aplicación que se le esté dando.

Considerando dos réplicas:

$$2^2 * 2 = 8 \text{ experimentos}$$

La combinación de las variables o interacción se muestra en la siguiente tabla

Tabla III - 5 Diseño Factorial para la etapa de extracción

N°	Combinación		Factores		Interacción
	Ph	T	pH	T	T/pH
1	2,5	20	-1	-1	1
2	2,5	40	-1	1	-1
3	3,5	20	1	-1	-1
4	3,5	40	1	1	1
5	2,5	20	-1	-1	1
6	2,5	40	-1	1	-1
7	3,5	20	1	-1	-1
8	3,5	40	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.1.DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE EXTRACCIÓN

3.2.5.1.1. PESAJE DE LA CORONTA CON SOLVENTE

Se pesa la coronta de maíz morado triturado en la balanza analítica, la cual se coloca posteriormente en un vaso de precipitado y se añade una solución etanólica al 60 % con una relación de 1:12.

Figura III - 16 Pesaje solución etanólica pH 3,5 y 57,897 g de coronta



Fuente: Elaboración propia, CEANID.

Se trabaja con los siguientes valores combinados como se muestra en el diseño factorial:

pH 2,5 y 3,5 ajustados con ácido cítrico

Temperatura: 20 – 40 °C

3.2.5.1.2. AGITACIÓN

Se aísla de tal manera que exista la mínima evaporación del etanol y además para eliminar cualquier interferencia externa que pueda encontrarse en el medio que se trabaja, se opera a 500rpm, se realizan 3 extracciones (para poder determinar cuántas eran las etapas extractivas necesarias para la mayor extracción de antocianinas

totales) por un tiempo de dos horas, lo que significa que el residuo de la primera filtración pasa a una segunda etapa de extracción.

Figura III - 17 Agitación de la muestra



Fuente: Elaboración propia

3.2.5.1.3. Filtración al vacío

Cada uno de los extractos se pasa por el equipo de filtración al vacío para separar la parte sólida de la líquida; una vez obtenido cada extracto se determina el contenido de antocianinas en cada uno y el final de toda la mezcla de acuerdo al volumen total.

Figura III - 18 Extractos de coronta morada filtrados

Extractos filtrados



(a)

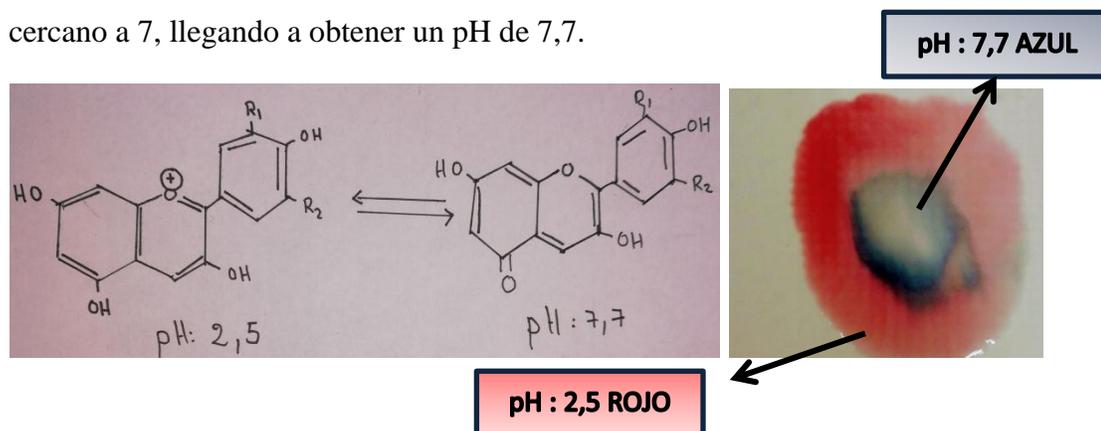
(b)

(c)

Fuente: Elaboración propia

- (a) Frasco que contiene extracto de la primera etapa (40 °C – pH 2,5)
- (b) Frasco que contiene extracto de la segunda etapa (40 °C – pH 2,5)
- (c) Frasco que contiene extracto de la tercera etapa (40 °C – pH 2,5)

Para poder observar el cambio de color de las antocianinas frente a diferentes pHs se hizo una prueba adicionando NaOH (Hidróxido de sodio) hasta llevarlo a un pH cercano a 7, llegando a obtener un pH de 7,7.

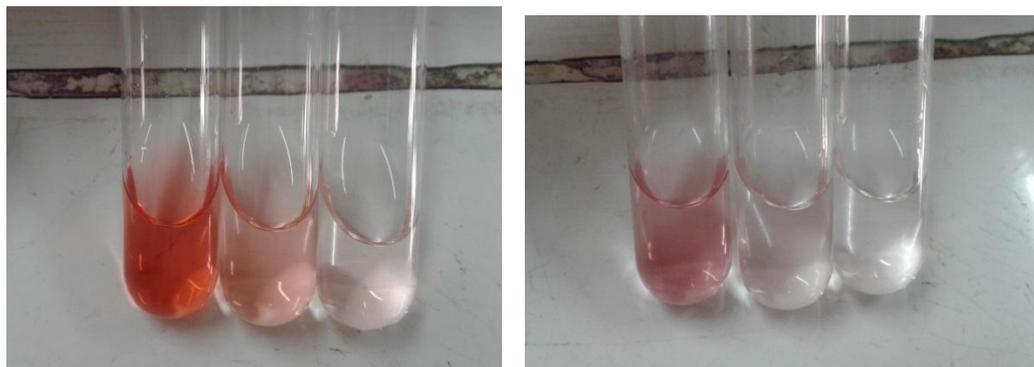


3.2.5.1.4. DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS

Para determinar la cantidad de antocianinas presentes en la coronta:

Se mezcla 0,05 ml del sobrenadante mezcla con 2,95 ml de soluciones Buffer de pH 1 y 4,5, la alícuota de 0,05 es menor a la realizada en la extracción por ultrasonido y agitación de los puntos 3.2.2.8 y 3.2.3.8 (Pág. 44,48) para determinar el tipo de solvente porque las absorbancias sobrepasaban los límites permitidos según el protocolo y además porque ahora las condiciones de extracción son diferentes (pH, T).

Figura III - 19 Buffer pH 4,5 y pH 1



Fotografía 1

Fotografía 2

Fuente: Elaboración propia.

La fotografía N°1 muestras disueltas en las soluciones Buffers de pH 1

La figura III-19 (1) muestra las 3 etapas de extracción con las soluciones Buffers (40 °C – pH 2,5)

La fotografía N°2 muestras disueltas en las soluciones Buffers de pH 4,5

La figura III-19 (2) muestra las 3 etapas de extracción con las soluciones Buffers (40 °C – pH 2,5)

Como se puede observar existe una leve diferencia de tonalidad lo que a simple vista muestra que los extractos obtenidos en la primera etapa presentan mayor contenido de antocianinas totales.

3.2.5.1.5. EVAPORACIÓN

Los extractos se los concentra a una temperatura de 60 °C (la temperatura es baja para no afectar las propiedades del producto) y una presión de 28,3 Kpa (Determinada por la bomba de vacío) en la etapa de evaporación utilizando el rota – evaporador, durante un periodo de tiempo de 40 min hasta disminuir el extracto a un 20– 25 % de su contenido inicial y evaporar la mayor cantidad de etanol y agua.

Una vez evaporado el solvente, se pesó para determinar su rendimiento.

Figura III - 20 Evaporación y concentración del colorante en rota evaporador



Fuente: Elaboración propia.

- **Almacenamiento**

Se almacenó la muestra en frascos y se guardó los mismos en una heladera para mantenerlos a una temperatura de 3 a 5 °C.

Figura III - 21 Concentrado rico en antocianinas - Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

3.2.6. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Para el balance de materia se trabaja inicialmente con 108,73 g de coronta con una humedad del 9,13 %. La etapa de extracción se realiza con las variables que

proporcionan una mayor cantidad de antocianinas totales; temperatura de 40 °C y un pH de 2,5 por un tiempo total de 6 horas (3 etapas cada una de dos horas).

Cada uno de los valores, entalpias, temperaturas se obtuvieron de tablas termodinámicas, de acuerdo a la presión que ejercía la bomba en el sistema.

Nomenclatura de las corrientes

Figura III - 22 Especificación general de los valores

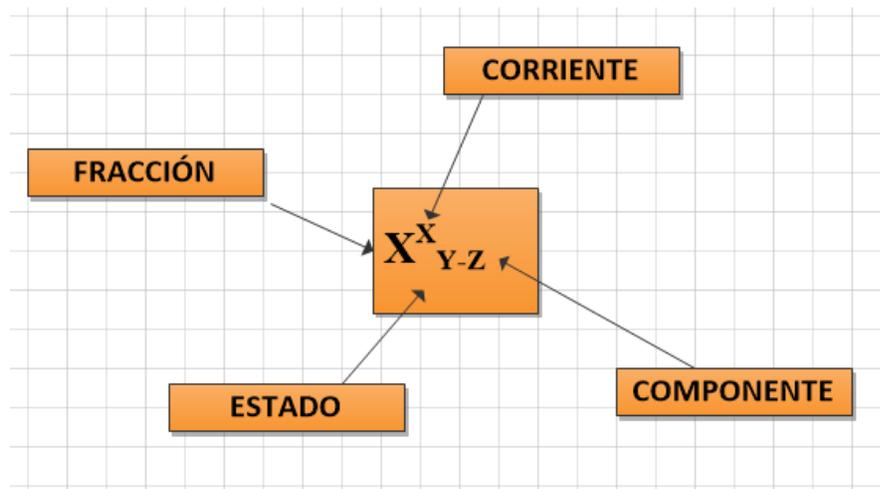


Tabla III - 6 Simbología de las corrientes

ESTADO	CORRIENTE	COMPONENTE
L = Líquido S = Sólido	1,2,3,4...23	H2O = Agua ET = Etanol AC = Ácido cítrico COR = Coronta ATT = Antocianinas totales

Variables de flujo

Cada uno de los valores descritos en la tabla corresponde a las corrientes, la designación C.

Tabla III - 7 Especificación de las corrientes

CORRIENTE	Especificación	CORRIENTE MÁSICA	Especificación
C1	Coronta entera	m^X_{H2O}	Masa de agua en corriente
C2	Coronta entera (2)	m^X_{ET}	Masa de etanol en corriente
C3	Coronta triturada	m^X_{AC}	Masa de ácido cítrico en corriente
C4	Coronta tamizada (1)	m^X_{COR}	Masa de coronta en corriente
C5	Coronta 2mm (1)	m^X_{ATT}	Masa de antocianinas totales
C6	Coronta 4mm (1)	m^X_{0mm}	Masa de coronta 0 mm
C7	Coronta molida (1)	m^X_{1mm}	Masa de coronta 1 mm
C8	Coronta tamizada (2)	m^X_{4mm}	Masa de coronta 4 mm
C9	Coronta 2mm (2)	m^X_{per}	Masa de coronta per
C10	Coronta 4mm (2)	CORRIENTE FRACCIONAL	Especificación
C11	Coronta molida (2)	X^X_{L-H2O}	Fracción de agua en corriente
C12	Coronta 2 mm (3)	X^X_{L-ET}	Fracción de etanol en corriente
C13	Coronta 4-1-0-PER	X^X_{S-AC}	Fracción de ácido cítrico en corriente
C14	Coronta 2mm (Total)	X^X_{S-COR}	Fracción de coronta en corriente
C15	SOLUCIÓN 60 % pH: 2,5 (1)	X^X_{S-ATT}	Fracción de antocianinas totales
C16	Etanol evaporado (1)	X^X_{0mm}	Fracción coronta 0 mm

C17	Extracto sin filtrar (1)	X^X_{1mm}	Fracción coronta 1 mm
C18	Extracto filtrado (1)	X^X_{2mm}	Fracción coronta 2 mm
C19	Coronta desgastada (1)	X^X_{4mm}	Fracción coronta 4 mm
C20	SOLUCIÓN 60 % pH: 2,5 (2)	X^X_{PER}	Fracción coronta perdida
C21	Extracto sin filtrar (2)		
C22	Extracto filtrado (2)		
C23	Coronta desgastada (2)		
C24	SOLUCIÓN 60 % pH: 2,5 (3)		
C25	Etanol evaporado (3)		
C26	Extracto sin filtrar (3)		
C27	Coronta desgastada (3)		
C28	Extracto filtrado (3)		
C29	Recolección extractos (1,2,3)		
C30	Extracto final		
C31	Solvente evaporado		
C32	Concentrado		
I	Impurezas		
P1	Etanol/agua perdidas (1) - filtración 1		
P2	Etanol/agua perdidas (2) - filtración 2		
P3	Etanol/agua perdidas (2) - filtración 3		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla III - 8 Datos del proceso para resolución del balance de materia y energía

Etapa de extracción	
Masa de coronta	108,73 g
Relación soluto: solvente	1:12

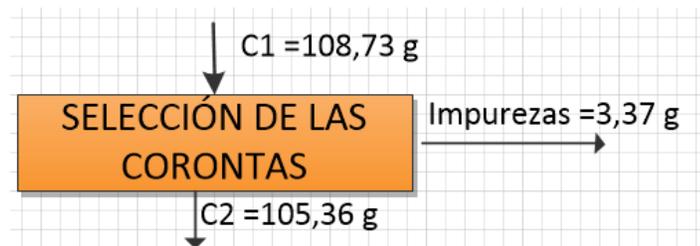
Masa de solvente Etapa 1 Etapa de agotamiento del residuo 2 Etapa de agotamiento del residuo 3	660,277 g de solución etanol al 60% pH 2,5 (3 veces)
Densidad del etanol 60 °	0,892 g/ml
Ácido cítrico Etapa 1 Etapa de agotamiento del residuo 2 Etapa de agotamiento del residuo 3	18,297g 18,297g 18,297g
Etapa de evaporación	
Solvente recuperado	1393,099 g
Temperatura del baño	60 °C
Calor específico del etanol	2,513 Kj/KgK
Temperatura de etanol condensado	21 °C
Presión de vacío de la bomba	28,3 Kpa
T _{eb} etanol	46 °C

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1.BALANCE DE MATERIA

SELECCIÓN DE LA CORONTA

- Se utiliza 108,73 g de coronta para el proceso de extracción de antocianinas.



Datos

C1: Coronta entera = 108.73 g

I = IMPUREZAS: = 3.37 g

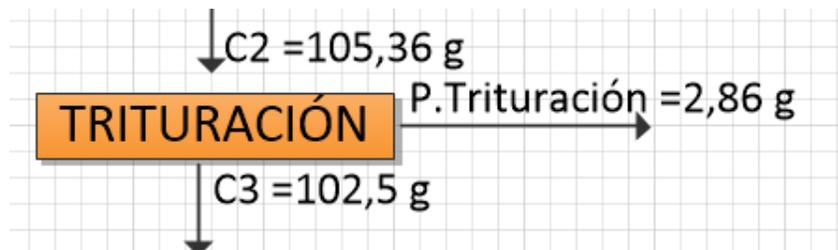
$$C2 = C1 - I$$

$$C2 = (108.73 - 3.37) \text{ g}$$

$$C2 = 105.36 \text{ g}$$

TRITURACIÓN DE LA CORONTA

- Se emplearon 105,36 g de coronta para la etapa de molienda. Una vez seleccionada la coronta se procede a la eliminación de restos de maíz, que quedaron de la etapa de desgranado



Datos

C2: Coronta entera = 105, 36 g

PT = P. trituration = 2,86 g

Corriente C3

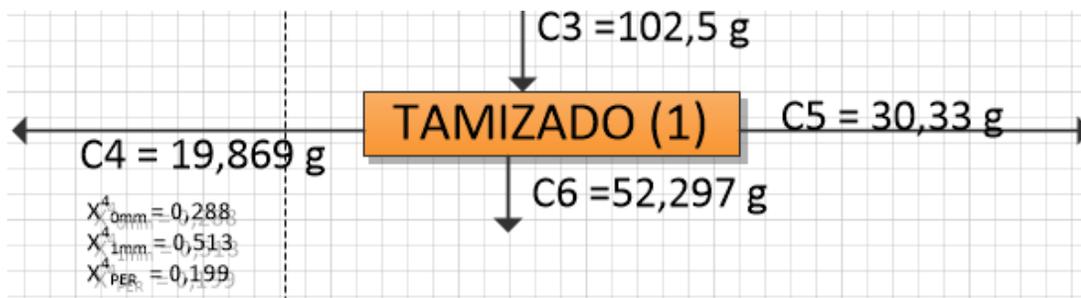
$$C3 = C2 - PT$$

$$C3 = (105,36 - 2,86) \text{ g}$$

$$C3 = 102,5 \text{ g} = \text{Coronta triturada}$$

$$\%_{\text{pérdidas}} = \frac{(2,86 \text{ g})}{105,36 \text{ g}} * 100 = 2,715 \%$$

ETAPA TAMIZADO (1)



Datos

C3 = Coronta triturada 102,5 g

C5 = Coronta 2 mm (1) = 30,33 g

C6 = Coronta 4 mm = ζ

$m^4_{0\text{mm}}$ = masa de coronta 0 mm = 5,727 g

$m^4_{1\text{mm}}$ = masa de coronta 1 mm = 10,195 g

m^4_{PER} = masa de coronta perdida = 3,947 g

CORRIENTE C4

$$C4 = m^4_{0\text{mm}} + m^4_{1\text{mm}} + m^4_{\text{per}}$$

$$C4 = (5,727 + 10,195 + 3,947) \text{ g}$$

$$C4 = 19,869 \text{ g}$$

$$X_{0mm}^4 = \text{fracción } 0 \text{ mm} = \frac{m_{0mm}^4}{C4} = \frac{5,727 \text{ g}}{19,869 \text{ g}} = 0,288$$

$$X_{1mm}^4 = \text{fracción } 1 \text{ mm} = \frac{m_{1mm}^4}{C4} = \frac{10,195 \text{ g}}{19,869 \text{ g}} = 0,513$$

$$X_{per}^4 = \text{fracción perdida} = \frac{m_{per}^4}{C4} = \frac{3,947}{19,869 \text{ g}} = 0,199$$

CORRIENTE C6

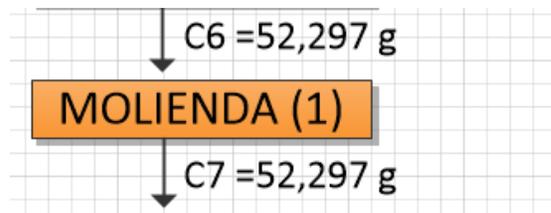
$$C6 = C3 - C4 - C5$$

$$C6 = (102,5 - 19,869 - 30,33) \text{ g}$$

$$C6 = 52,297 \text{ g}$$

ETAPA MOLIENDA (1)

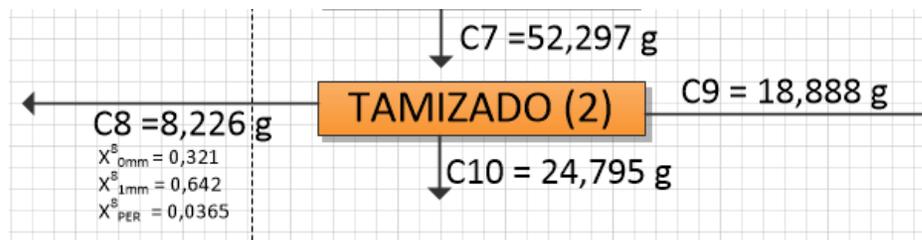
Al ser un sistema cerrado no hay variación en la corriente de entrada y salida.



$C6 = \text{Coronta } 4\text{mm} = C7 = \text{Coronta molida (1)}$

$$C6 = C7 = 52,297 \text{ g}$$

ETAPA TAMIZADO (2)



Datos

$$C7 = \text{Coronta molida (1)} = 52,297 \text{ g}$$

$$C9 = \text{Coronta 2 mm (2)} = 18,888 \text{ g}$$

$$C10 = \text{Coronta 4 mm} = i$$

$$m_{0mm}^8 = \text{masa de coronta 0 mm} = 2,769 \text{ g}$$

$$m_{1mm}^8 = \text{masa de coronta 1 mm} = 5,538 \text{ g}$$

$$m_{per}^8 = \text{masa de coronta perdida} = 0,315 \text{ g}$$

CORRIENTE C8

$$C8 = m_{0mm}^8 + m_{1mm}^8 + m_{per}^8$$

$$C8 = (2,769 + 5,538 + 0,315) \text{ g}$$

$$C8 = 8,622 \text{ g}$$

$$X_{0mm}^8 = \text{fracción 0 mm} = \frac{m_{0mm}^8}{C8} = \frac{2,769 \text{ g}}{8,622 \text{ g}} = 0,321$$

$$X_{1mm}^8 = \text{fracción 1 mm} = \frac{m_{1mm}^8}{C8} = \frac{5,538 \text{ g}}{8,622 \text{ g}} = 0,642$$

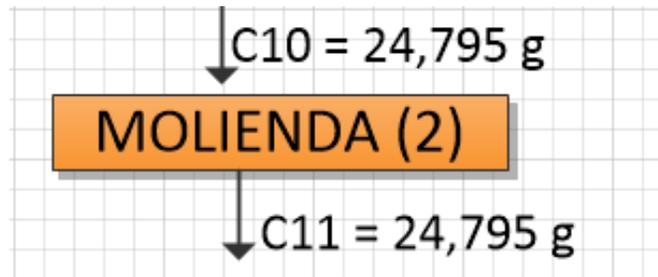
$$X_{per}^8 = \text{fracción perdida} = \frac{m_{per}^8}{C8} = \frac{0,315}{8,622} = 0,0365$$

CORRIENTE C10

$$C10 = C7 - C8 - C9$$

$$C10 = (52,297 - 18,888 - 8,226) \text{ g}$$

$$C10 = 24,795 \text{ g}$$

ETAPA DE MOLIENDA 2

C10 = Coronta 4mm (2) = **C11** = Coronta molida (2)

$$\mathbf{C11} = \mathbf{C10} = 24,797 \text{ g}$$

ETAPA DE TAMIZADO (3)**Datos**

C11 = Coronta molida (2) = 24,795 g

C12 = Coronta 2 mm (3) = 8,684 g

C13 = Coronta 4 mm – 1mm – 0mm - PERDIDA = \dot{c}

m^{13}_{0mm} = masa de coronta 0 mm = 1,668 g

m^{13}_{1mm} = masa de coronta 1 mm = 2,454 g

m^{13}_{4mm} = masa de coronta 4mm = 11,517 g

m^{13}_{per} = masa de coronta perdida = 0,472 g

CORRIENTE C8

$$\mathbf{C13} = m^{13}_{0mm} + m^{13}_{1mm} + m^{13}_{4mm} + m^{13}_{per}$$

$$\mathbf{C13} = (1,688 + 2,454 + 11,517 + 0,472) \text{ g}$$

$$\mathbf{C13} = 16,11 \text{ g}$$

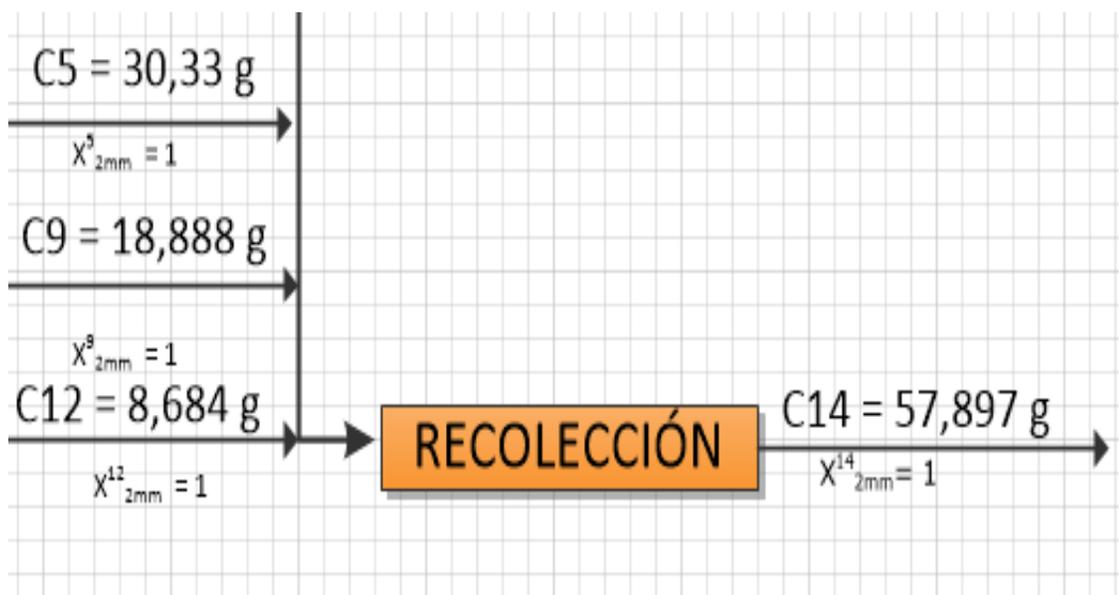
$$X_{0mm}^{13} = \text{fracción } 0 \text{ mm} = \frac{m_{0mm}^{13}}{C8} = \frac{1,688 \text{ g}}{16,111 \text{ g}} = 0,105$$

$$X_{1mm}^{13} = \text{fracción } 1 \text{ mm} = \frac{m_{1mm}^{13}}{C8} = \frac{2,454 \text{ g}}{16,111 \text{ g}} = 0,152$$

$$X_{4mm}^{13} = \text{fracción } 4 \text{ mm} = \frac{m_{4mm}^{13}}{C8} = \frac{11,517 \text{ g}}{16,111 \text{ g}} = 0,715$$

$$X_{per}^{13} = \text{fracción perdida} = \frac{m_{per}^{13}}{C8} = \frac{0,472}{16,111} = 0,0293$$

RECOLECCIÓN DE CORONTA 2 MM



Datos

C5 = coronta 2mm (1) = 30,33 g

C9 = coronta 2mm (2) = 18,888 g

C12 = coronta 2mm (3) = 8,684 g

$$C14 = C5 + C9 + C13$$

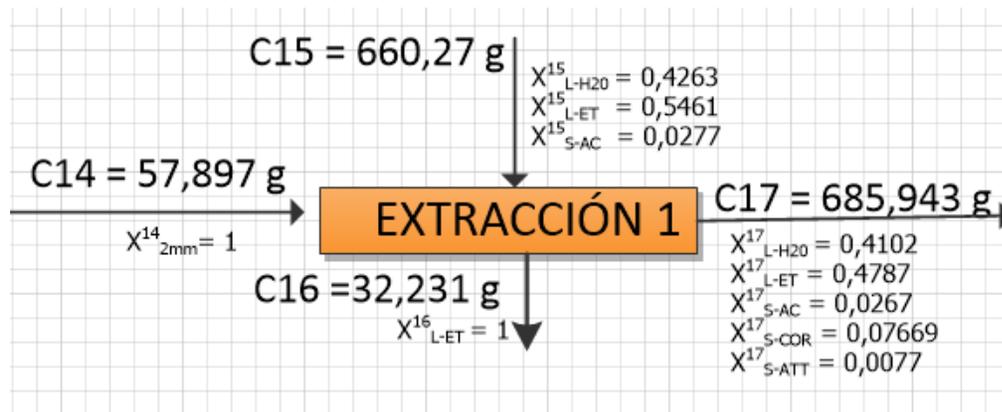
$$C14 = 30,33 + 18,888 + 8,684 \text{ g}$$

$$\mathbf{C14 = 57,897 \text{ Coronta 2mm (Total)}}$$

BALANCE EN LA EXTRACCIÓN

El agotamiento del colorante en el residuo por extracción con solvente se realiza dos veces con su respectiva etapa de filtración, lo que significa que se realizan 3 etapas de extracción y tres etapas de filtración.

Etapa de extracción (1)



DATOS

C14 = Coronta 2mm = 57,897 g

C15 = SOLUCION 60 % pH: 2,5 (1) = ζ

C16 = Etanol evaporado (1) = 32,231 g

C17 = Extracto sin filtrar (1) = ζ

Etanol 92 % = 470 ml **Densidad etanol 92 %** = 0,834 g/ml

CORRIENTE C15

Volumen de agua: 250 ml = 250 g

$m^{15}_{H_2O}$ = masa de agua en corriente = ζ

m^{15}_{ET} = masa de etanol en corriente = ζ

m^{15}_{AC} = masa de ácido cítrico en corriente = 18,297 g

CÁLCULO m etanol 92% = densidad * etanol al 92%

$$m \text{ etanol al } 92 \% = 0,834 \text{ g/ml} * 470 \text{ ml}$$

$$m \text{ etanol al } 92\% = 391,98 \text{ g}$$

CÁLCULO $m_{ET}^{15} = 391,98 \text{ g} - (391,98 * 0,008) \text{ g}$

$$m_{ET}^{15} = 360,6216 \text{ g}$$

CÁLCULO $m_{H_2O}^{15} = 250 \text{ g} + (391,98 * 0,008) \text{ g}$

$$m_{H_2O}^{15} = 281,3584 \text{ g}$$

CÁLCULO $C15 = m_{H_2O}^{15} + m_{ET}^{15} + m_{AC}^{15}$

$$C15 = 281,3584 \text{ g} + 360,6216 \text{ g} + 18,297 \text{ g}$$

$$C15 = 660,277 \text{ g}$$

$$X_{L-H_2O}^{15} = \text{fracción de agua} = \frac{m_{H_2O}^{15}}{C15} = \frac{281,3584}{660,277 \text{ g}} = 0,4263$$

$$X_{L-ET}^{15} = \text{fracción de etanol} = \frac{m_{ET}^{15}}{C15} = \frac{360,6212 \text{ g}}{660,277 \text{ g}} = 0,5461$$

$$X_{S-AC}^{15} = \text{fracción de ácido cítrico} = \frac{m_{AC}^{15}}{C15} = \frac{18,297 \text{ g}}{660,277 \text{ g}} = 0,0277$$

CORRIENTE C17

C17 = Extracto sin filtrar (1) = ¿

$M_{H_2O}^{17}$ = Masa de agua en corriente = 281,3584 g

M_{ET}^{17} = Masa de etanol en corriente = ¿

M_{AC}^{17} = Masa de ácido cítrico en corriente = 18,297 g

M_{COR}^{17} = Masa de coronta = 52,607 g

M_{ATT}^{17} = Masa de antocianinas totales = 5,290 g

$$\text{CÁLCULO } C17 = C14 + C15 - C16$$

$$C17 = (57,897 + 660,277 - 32,231) \text{ g}$$

$$C17 = 685,943 \text{ g}$$

$$\text{CÁLCULO } m_{ET}^{17} = m_{ET}^{15} - C16$$

$$M_{ET}^{17} = (360,6216 - 32,231) \text{ g}$$

$$M_{ET}^{17} = 328,3906 \text{ g}$$

$$X_{L-H2O}^{17} = \text{fracción de agua} = \frac{m_{H2O}^{17}}{C17} = \frac{281,3584 \text{ g}}{685,943 \text{ g}} = 0,4102$$

$$X_{L-ET}^{17} = \text{fracción de etanol} = \frac{m_{ET}^{17}}{C17} = \frac{328,3906 \text{ g}}{685,943 \text{ g}} = 0,4787$$

$$X_{S-AC}^{17} = \text{fracción de ácido cítrico} = \frac{m_{AC}^{17}}{C17} = \frac{18,297 \text{ g}}{685,943 \text{ g}} = 0,0267$$

$$X_{S-COR}^{17} = \text{fracción de coronta} = \frac{m_{COR}^{17}}{C17} = \frac{52,607 \text{ g}}{685,943 \text{ g}} = 0,07669$$

$$X_{S-ATT}^{17} = \text{fracción de antocianinas} = \frac{m_{ATT}^{17}}{C17} = \frac{5,290 \text{ g}}{685,943 \text{ g}} = 0,0077$$

Etapa de filtración (1)



DATOS

C17 = Extracto sin filtrar (1) = 685,943 g

C18 = Extracto filtrado (1) = ¿

C19 = Coronta desgastada (1) = 52,607 g

P1 = Etanol/agua perdidas (1) - filtración 1 = 35,726 g

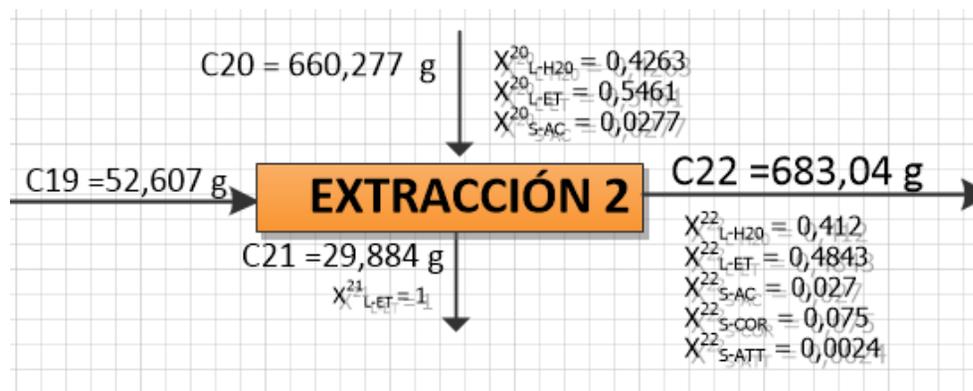
CORRIENTE C18

CÁLCULO **C18** = C17 - P1 - C19

$$C18 = (685,9674 - 35,726 - 52,607) \text{ g}$$

$$C18 = 597,6344 \text{ g}$$

Etapa de extracción (2)



DATOS

C20 = C15 = SOLUCIÓN 60 % pH: 2,5 (1) = 660,277g

C19 = 52,607 g

C21 = Etanol evaporado (2) = 29,844 g

C22 = Extracto sin filtrar (2) = ζ

CORRIENTE C22

C22 = Extracto sin filtrar (1) = ζ

$M_{H_2O}^{22}$ = Masa de agua en corriente = 281,3584 g

M_{ET}^{22} = Masa de etanol en corriente = ζ

M_{AC}^{22} = Masa de ácido cítrico en corriente = 18,297 g

M_{COR}^{22} = Masa de coronta = 50,984 g

M_{ATT}^{22} = Masa de antocianinas totales = 1,623 g

CÁLCULO $C22 = C19 + C20 - C21$

$$C22 = (52,607 + 660,277 - 29,844) \text{ g}$$

$$C22 = 683,04 \text{ g}$$

CÁLCULO $m_{ET}^{22} = m_{ET}^{15} - C21$

$$M_{ET}^{22} = (360,6216 - 29,844) \text{ g}$$

$$M_{ET}^{22} = 330,7776 \text{ g}$$

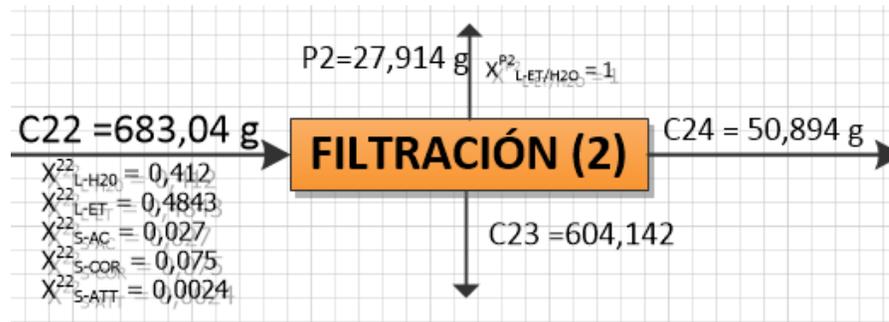
$$X_{L-H2O}^{22} = \text{fracción de agua} = \frac{m_{H2O}^{22}}{C22} = \frac{281,3584 \text{ g}}{683,04 \text{ g}} = 0,412$$

$$X_{L-ET}^{22} = \text{fracción de etanol} = \frac{m_{ET}^{22}}{C22} = \frac{330,776 \text{ g}}{683,04 \text{ g}} = 0,4843$$

$$X_{S-AC}^{22} = \text{fracción de ácido cítrico} = \frac{m_{AC}^{22}}{C22} = \frac{18,297 \text{ g}}{683,04 \text{ g}} = 0,027$$

$$X_{S-COR}^{22} = \text{fracción de coronta} = \frac{m_{COR}^{22}}{C22} = \frac{50,984 \text{ g}}{683,04 \text{ g}} = 0,075$$

$$X_{S-ATT}^{22} = \text{fracción de antocianinas} = \frac{m_{ATT}^{22}}{C22} = \frac{1,623 \text{ g}}{683,04 \text{ g}} = 0,0024$$

Etapas de filtración (2)**DATOS**

C22 = Extracto sin filtrar (2) = 683,04 g

C23 = Extracto filtrado (2) = ζ

C24 = Coronta desgastada (2) = 50,984 g

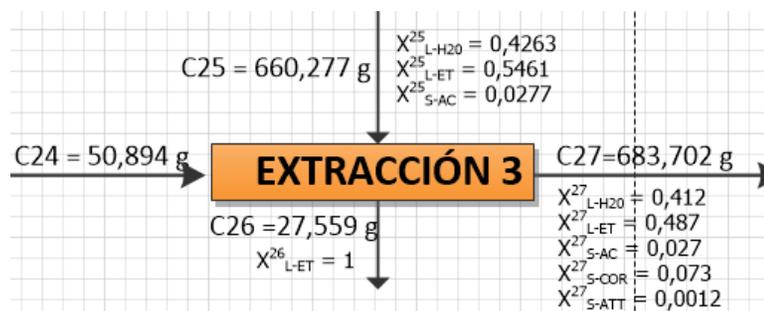
P2 = Etanol/agua perdidas (2) - filtración 2 = 27,914g

CORRIENTE C23

$$\text{CÁLCULO} \quad C23 = C22 - P2 - C24$$

$$C23 = (683,04 - 27,914 - 50,984) \text{ g}$$

$$C23 = 604,142 \text{ g}$$

Etapa de extracción (3)**DATOS**

$C25 = C20 = \text{SOLUCIÓN } 60 \% \text{ pH: } 2,5 (2) = 660,277 \text{ g}$

$C24 = 50,984 \text{ g}$

$C26 = \text{Etanol evaporado (3)} = 27,559 \text{ g}$

$C27 = \text{Extracto sin filtrar (3)} = \text{¿}$

CORRIENTE C27

$C27 = \text{Extracto sin filtrar (1)} = \text{¿}$

$M_{H2O}^{27} = \text{Masa de agua en corriente} = 281,3584 \text{ g}$

$M_{ET}^{27} = \text{Masa de etanol en corriente} = \text{¿}$

$M_{AC}^{27} = \text{Masa de ácido cítrico en corriente} = 18,297 \text{ g}$

$M_{COR}^{27} = \text{Masa de coronta} = 50,162 \text{ g}$

$M_{ATT}^{27} = \text{Masa de antocianinas totales} = 0,822 \text{ g}$

CÁLCULO $C27 = C24 + C25 - C26$

$$C27 = (50,984 + 660,277 - 27,559) \text{ g}$$

$$C27 = 683,702 \text{ g}$$

CÁLCULO $m_{ET}^{27} = m_{ET}^{25} - C26$

$$m_{ET}^{27} = (360,6216 - 27,559) \text{ g}$$

$$m_{ET}^{27} = 333,0626 \text{ g}$$

$$X_{L-H_2O}^{27} = \text{fracción de agua} = \frac{m_{H_2O}^{27}}{C27} = \frac{281,3584 \text{ g}}{683,702 \text{ g}} = 0,412$$

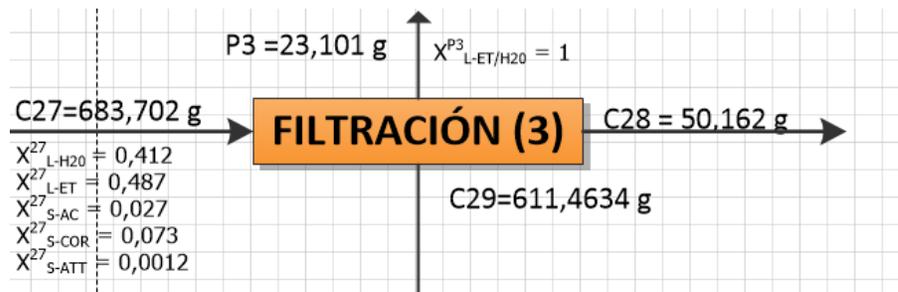
$$X_{L-ET}^{27} = \text{fracción de etanol} = \frac{m_{ET}^{27}}{C27} = \frac{333,0626 \text{ g}}{683,702 \text{ g}} = 0,487$$

$$X_{S-AC}^{27} = \text{fracción de ácido cítrico} = \frac{m_{AC}^{27}}{C27} = \frac{18,297 \text{ g}}{683,702 \text{ g}} = 0,027$$

$$X_{S-COR}^{27} = \text{fracción de coronta} = \frac{m_{COR}^{27}}{C27} = \frac{50,162 \text{ g}}{683,702 \text{ g}} = 0,073$$

$$X_{S-ATT}^{27} = \text{fracción de antocianinas} = \frac{m_{ATT}^{27}}{C27} = \frac{0,822 \text{ g}}{683,702 \text{ g}} = 0,0012$$

Etapa de filtración (3)



DATOS

C27 = Extracto sin filtrar (3) = 683,702g

C29 = Extracto filtrado (3) = \dot{c}

C28 = Coronta desgastada (3) = 50,162g

P3 = Etanol/agua perdidas (3) - filtración 3 = 23,101 g

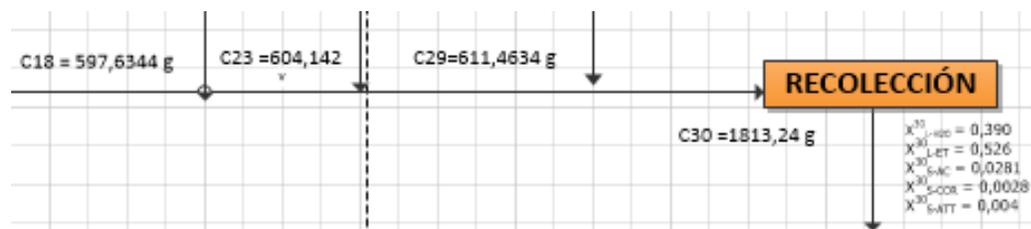
CORRIENTE C18

CÁLCULO C29 = C9 – P3 – C28

$$C29 = (683,702 - 23,101 - 50,162) \text{ g}$$

$$C29 = 611,4634 \text{ g}$$

ETAPA DE RECOLECCIÓN



C18 = Extracto filtrado (1) = 597,6344

C23 = Extracto filtrado (2) = 604,142 g

C29 = Extracto filtrado (3) = 611,4634 g

C30 = **Recolección de los extractos (1, 2, 3) = ¿**

$$\text{CÁLCULO} \quad \mathbf{C30} = \mathbf{C18} + \mathbf{C23} + \mathbf{C29}$$

$$\mathbf{C30} = (597,633 + 604,142 + 611,4634) \text{ g}$$

$$\mathbf{C30} = 1813,24 \text{ g}$$

Datos

Para determinar la cantidad de etanol en el extracto o Corriente C30 se emplea el alcoholímetro de vinos dando un valor de 54°

$$\mathbf{M}^{\mathbf{30}}_{\mathbf{H2O}} = \text{Masa de agua en corriente} = 796,155 \text{ g}$$

$$\mathbf{M}^{\mathbf{03}}_{\mathbf{ET}} = \text{Masa de etanol en corriente} = 954,182$$

$$\mathbf{M}^{\mathbf{30}}_{\mathbf{AC}} = \text{Masa de ácido cítrico en corriente} = 51,001 \text{ g}$$

$$\mathbf{M}^{\mathbf{30}}_{\mathbf{COR}} = \text{Masa de coronta/solidos} = 5,025 \text{ g}$$

$$\mathbf{M}^{\mathbf{30}}_{\mathbf{ATT}} = \text{Masa de antocianinas totales} = 7,223 \text{ g}$$

$$X_{L-H_2O}^{30} = \text{fracción de agua} = \frac{m_{H_2O}^{30}}{C30} = \frac{796,155 \text{ g}}{1813,24 \text{ g}} = 0,4390$$

$$X_{L-ET}^{30} = \text{fracción de etanol} = \frac{m_{ET}^{30}}{C30} = \frac{954,182 \text{ g}}{1813,24 \text{ g}} = 0,526$$

$$X_{S-AC}^{30} = \text{fracción de ácido cítrico} = \frac{m_{AC}^{30}}{C30} = \frac{51,001 \text{ g}}{1813,24 \text{ g}} = 0,0281$$

$$X_{S-COR}^{30} = \text{fracción de coronta} = \frac{m_{COR}^{30}}{C30} = \frac{5,025 \text{ g}}{1813,24 \text{ g}} = 0,0028$$

$$X_{S-ATT}^{30} = \text{fracción de antocianinas} = \frac{m_{ATT}^{30}}{C30} = \frac{7,223 \text{ g}}{1813,24 \text{ g}} = 0,004$$

ETAPA DE EVAPORACIÓN



C30 = Extracto final = 1813, 24 g

C31 = Solvente evaporado = ¿

C32 = Concentrado = 420,15951 g

Donde:

La densidad es un dato tomado de las mediciones elaboradas por el CEANID.

Densidad del concentrado: 1,0401 g/ml

$$C31 = C22 - C32$$

$$C31 = 1813,24 - 420,1521 \text{ g}$$

$$C31 = 1393,099 \text{ g}$$

ATT: 7223 mg 57,897 g de coronta o 7,223 g de coronta en 57,897 g de coronta

PORCENTAJE DE PÉRDIDAS DE LA ETAPA DE EXTRACCIÓN Y FILTRACIÓN

$$\%_{PER} = \frac{(ATT_{inicial} - ATT_{final})}{ATT_{final}} = \frac{0,510}{7,223} * 100 = 7,060\%$$

RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

Rendimiento de contenido de antocininas en 57,897 gramos de coronta

$$\eta_{RE} = \frac{ANTOCIANINAS\ TOTALES}{CORONTA\ INICIAL} = \frac{7,223}{57,897} * 100 = 12,03\%$$

RENDIMIENTO COMPARADO A LA EXTRACCIÓN REALIZADA EN LA PAZ

Para poder evaluar el rendimiento de extracción del presente proyecto comparando con los resultados obtenidos en el departamento de La Paz, se acondicionan los datos obtenidos, para poder efectuar un método comparativo, sin alterar los resultados.

PROCEDENCIA DEL PROYECTO	CONTENIDO DE ATT	CONDICIONES
ATT –La Paz	104 mg ATT/ 1 g de coronta	2 etapas
ATT – Tarija	119,4 mg ATT/ 1 g de coronta	2 etapas

Fuente: Elaboración propia

RENDIMIENTO COMPARADO

$$\eta_{RE} = \frac{ATT\ LA\ PAZ}{ATT\ TARIJA} = \frac{119,4}{104} * 100 = 114,81\%$$

La extracción realizada por agitación magnética es 14 % más efectiva que la realizada por una maceración simple

3.2.6.2.BALANCE DE ENERGÍA

En la siguiente sección se realiza el balance de energía en la etapa de extracción y rota-evaporación.

Balance en el agitador magnético

La velocidad a la que se trabaja para el agitado es de 500rot/min. Para obtener los watt a los que trabaja el agitador se hace una relación entre las velocidades y energía utilizada.

Potencia = 80W

Velocidad =1500 rot/min

$$Q1 = \frac{80 W * 500 rpm/min}{1500 rpm/min} = 26,667 W = 0,0266Kw$$

Balance de energía en el Rota-evaporador

La bomba reduce la presión del sistema hasta obtener una temperatura de ebullición de 46 ° C del extracto.

$$Psist = Patm - Pred$$

$$Psist = 101,3 Kpa - 73 Kpa$$

$$Psist = 28,3 Kpa$$

Datos

T baño: 60 °C

T sistema: 46 °C (extracto en el balón)

T inicial: 17 °C del agua

Masa de agua de baño= 3,5 Kg

Masa de mezcla = 859,513 g = 0,86 Kg

Masa de etanol = 954,182 g =0,96 Kg

$$C_{pOH} = 2,513 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ Agua}} = 4,186 \text{ Julios/gramo}^\circ\text{C} = 4,186 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}$$

$$\lambda_{OH} = 841 \text{ Kj/kg}$$

Balance en el sistema de evaporación

$$Q_{ENTREGADO} = Q_{ABSORBIDO}$$

$$Q_{ENTREGADO} = m_{\text{baño-agua}} * \Delta T * C_{p\text{agua}}$$

$$Q_{ENTREGADO} = 3,5 \text{ Kg} * 60^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C} * 4,186 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_{ENTREGADO} = 629,993 \text{ Kj}$$

$$Q_{ABSORBIDO} = \Delta T * C_{p_{OH}} * m_{OH} + (\Delta T * m_{ATT} * C_{p_{ATT}})$$

$$C_{p_{ATT}} = \frac{Q_{ABSORBIDO} - \Delta T * C_{p_{OH}} * m_{OH}}{\Delta T * m_{ATT}}$$

$$C_{p_{ATT}} = \frac{629,993 \text{ Kj} - 46^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C} * 2,513 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}^\circ\text{C} * 0,96 \text{ g}}{(60^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C}) * 0,86 \text{ Kg}} = (55,221198)$$

$$C_{p_{MEZCLA}} = 15,14 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}^\circ\text{C}$$

$$Q_a = 629,993 * \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ Kj}} = 0,175 \text{ KW}$$

La potencia que se necesita para el baño según especificaciones técnicas del equipo es de 1320 W (**Ver especificación, ANEXO I**) y por lo cual el tiempo que demanda es de:

$$Q_{ENTREGADO} = \text{Potencia} * \text{tiempo} (s)$$

$$\text{Tiempo} = \frac{629,993 \text{ Kj}}{1,320 \text{ Kj/s}}$$

$$\text{Tiempo} = 483,864 \text{ s} (8,06 \text{ min})$$

Balance en el condensador

Temperatura de salida del serpentín: 21°C

$$Q_B = Q_C$$

$$Q_{\text{ABSORBIDO}} = Q_{\text{ENTREGADO}}$$

$$(\lambda_{OH} * m_{OH}) + (m_{OH} * Cp_{OH} * \Delta T) = m_{\text{COND-AGUA}} * \Delta T * Cp_{AGUA}$$

$$m_{\text{COND-AGUA}} = \frac{(\lambda_{OH} * m_{OH}) + (m_{OH} * Cp_{OH} * \Delta T)}{\Delta T * Cp_{AGUA}}$$

$$m_{\text{COND-AGUA}} = \frac{0,96 \text{ Kg} * 841 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} + (0,96 \text{ Kg} * 2,513 \text{ 17} - 21 \text{ }^\circ\text{C})}{21 - 17 \text{ }^\circ\text{C} * 4,186 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}}$$

$$m_{\text{COND-AGUA}} = 47,642 \text{ Kg}$$

$$Q_B = 47,642 \text{ Kg} * \frac{4,186 \text{ Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (4 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_B = 797,71 \text{ Kj} * \frac{1 \text{ Kw}}{3600 \text{ Kj}} = 0,223 \text{ Kj}$$

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y RESULTADO

4. CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

Los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) (Ver informes, ANEXO A y C) y en el laboratorio de Compuestos Bioactivos ambos dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación se detallan los tipos de análisis realizados:

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; coronta molido de maíz morado

- Determinación porcentual de fibra
- Determinación porcentual de cenizas
- Determinación porcentual de humedad

Tabla IV - 1 Resultados de análisis materia prima

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Fibra	%	18,4
Cenizas	%	3,31
Humedad	%	9,13

Fuente: Centro de análisis, investigación y desarrollo, 2018.

A su vez también se realizan los análisis respectivos al producto obtenido después de la etapa de extracción, ya que sus valores son necesarios para el balance de materia y energía.

A continuación se detallan los tipos de análisis realizados:

Tabla IV - 2 Resultados de análisis extracto

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Densidad	g/l	0,9303
Azucares Totales	%	0,45

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo, 2018. CEANID

4.2.RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL PRODUCTO TERMINADO

Los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla IV - 3: Resultados del análisis realizado en el Ceanid

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Solidos totales	%	1,22
pH	-	1,71
Acidez	%	3,716
Densidad	g/l	1,0401

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo, 2018.

El análisis de color, se realiza en un fotocolorímetro CHROMA METER CR400 (ver especificaciones en anexo L) midiendo los valores de Luminocidad (L^* , negro-blanco croma (a^* , verde-, rojo+) y tono (b^* , azul-, amarillo -))(Toma de datos anexo M). Los valores de cromaticidad e índice de oscurecimiento se desarrollan empleando formulas (Ver anexo L).

Tabla IV - 4 Resultados de fotocolorimetría

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
L*	LUMINOCIDAD	21,11
A*	A (+) ROJO	39,88
B*	B(-) AZUL	-0,63
IO	Índice de oscurecimiento	86,029
C	Cromaticidad	39,88
H	Ángulo de tono	332,8 °

Fuente: UMSA, LABORATORIO DE ALIMENTOS, ANTONIO ALVARADO
(Realizado por Ana Gabriela Callisaya – Beca trabajo) (14 de mayo de 2019)

En un espacio de color RGB, el hex # 630d34 se compone de 38.8% de rojo, 5.1% de verde y 20.4% de azul, mientras que en un espacio de color CMYK, está compuesto de 0% de cian, 86,9% de magenta, 47,5% de amarillo y 61,2% de negro. Tiene un ángulo de tono de 332.8 grados, una saturación de 76.8% y una claridad de 21%. (Referencia: <https://www.colorhexa.com/630d34>).

4.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MOLIENDA

Para el análisis de la materia se considera los 102,5 gramos de coronta triturada; el análisis se realiza según el procedimiento descrito en el punto **3.2.2.5**.

Tabla IV - 5 Primera etapa de tamizado

Masa inicial: 102,5 g coronta					
Abertura de malla (mm)	Peso malla (g)	Peso malla con muestra (g)	Rechazo (g) (1)	% Rechazo	
4	455,5	507,79704	52,2970422	51,022	
2	434,5	464,83354	30,3335431	29,594	
1	433,7	443,89509	10,1950913	9,946	
0	464,1	469,82687	5,72687225	5,587	
			98,552549	Resto	3,943

Fuente: Elaboración propia, LOU (Laboratorio de operaciones unitarias).

En la tabla se puede observar que una vez realizada la etapa de trituración el porcentaje inicial de masa triturada a un tamaño de 2 mm corresponde al 29 % de la masa inicial; en cada una de las siguientes tablas se muestra el porcentaje de coronta molida a 2 mm. Todo lo que corresponde a un tamaño de 1mm y 0 en tamaño de malla se descarta de la etapa de molienda y la coronta de 2mm se almacena.

Tabla IV - 6 Segunda etapa de tamizado

Masa inicial: 52,297 g coronta					
Abertura de malla (mm)	Peso malla (g)	Peso malla con muestra (g)	Rechazo (g) (2)	% Rechazo	
4	455,4	480,195	24,795	47,413	
2	434,5	453,380	18,880	36,101	
1	433,9	439,438	5,538	10,590	
0	464,1	466,869	2,769	5,295	
			51,982337	Resto	0,3146

Fuente: Elaboración propia, LOU (laboratorio de operaciones unitarias).

Se muele 52,297 g de coronta con un tamaño inicial de 4 mm y posteriormente se lleva a tamizar obteniendo el 18,880 g de coronta molida en un tamaño de 2mm; el resto es la cantidad de coronta que se perdió en la etapa de tamizado.

Tabla IV - 7 Tercera etapa de tamizado

Masa inicial: 39,4 g de coronta					
Abertura de malla (mm)	Peso malla (g)	Peso malla con muestra (g)	Rechazo (g) (3)	% Rechazo	
4	455,6	467,1165	11,5165	46,4467	
2	434,5	443,1845	8,6845	35,0254	
1	433,8	436,2543	2,4543	9,8985	
0	464,1	465,7677	1,6677	6,7259	
			24,3230	Resto	0,47198604

Fuente: Elaboración propia, LOU (laboratorio de operaciones unitarias).

En la última etapa de molienda se trabaja con 39,4 g de coronta proveniente de la malla de 4 mm, obteniendo como resultado 8,6846 g de coronta molida de la malla de 2 mm.

Tabla IV - 8 Resultado final – coronta obtenida en cada malla

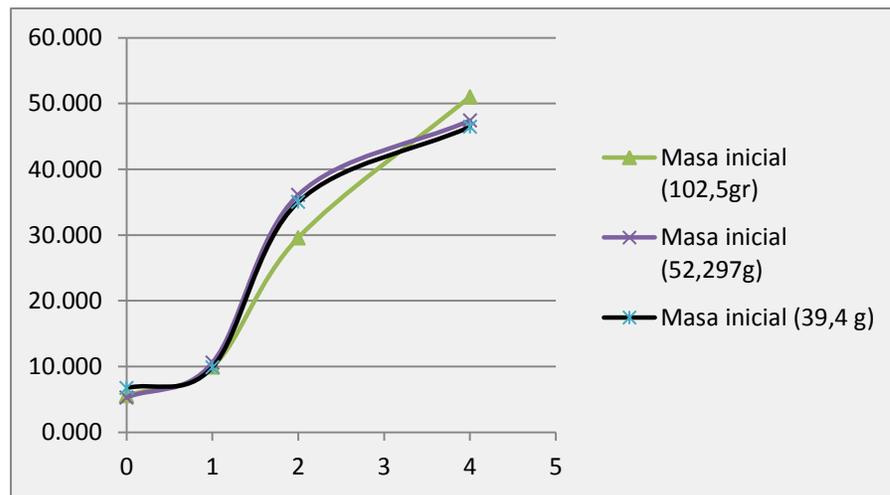
Tamaño	m (g) coronta
4mm	11,5165
2mm	57,8979
1mm	18,1875
0	10,1636
Total	97,7654

Fuente: Elaboración propia, LOU (laboratorio de operaciones unitarias).

Finalmente se obtuvieron 57,8979 g de coronta molida en la malla de 2mm y se perdió 28,34 g de coronta en las mallas de 1mm y 0. La pérdida del proceso por las etapas de traslado y pesado en general es de 4,7341 g.

El rendimiento de la etapa de molienda es del 56%

Figura IV - 1 Número de malla vs porcentaje de rechazo



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente diagrama se puede ver que el porcentaje de rechazo en la malla de 2 mm va en aumento, lo que significa que el tamaño de bolas y la cantidad en peso es la adecuada para la etapa de molienda, si se hubieran trabajado con tiempos menores la cantidad de etapas sería mayor y la cantidad de coronta molida sería relativamente la misma.

El porcentaje de rechazo en la malla de 4 mm no tiene un descenso en picada porque se trató de recuperar la mayor cantidad de coronta de un tamaño de 2 mm sin afectar el porcentaje de rechazo de manera significativa en las mallas de 0 y 1 mm.

4.4.RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Cada uno de los datos mostrados refleja los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos con su réplica y las tres etapas que se indican en el punto 3.2.5.1.4.

$$Total\ antocianinas\ \left(\frac{mg}{1L}\right) = \frac{\Delta A * PM * FD * 1000}{E * l}$$

Ecuación: ANEXO G

$\Delta A = (A_{543} - A_{700})_{pH\ 1} - (A_{543} - A_{700})_{pH\ 4,5}$ **Absorbancia**

PM (Peso Molecular)= 449,2 g/mol para cianidina-3-glucósido

FD= Factor de dilución

l= Longitud de paso de celda en cm

E=26900 coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido

f =1000 = Factor de conversión de g a mg.

AcNa = Acetato de sodio

KCl = Cloruro de potasio

Tabla IV - 9 Absorbancia ΔA totales pH: 2,5 – Temperatura 20°C

pH 2,5	0,05 ml de extracto y 3ml KCL			0,05 ml de extracto y 3mL AcNa			ΔA
	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs. 510	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs 510	
T 20 °C							
Etapa 1	0,456	0,02	0,741	0,099	0,009	0,109	0,346
Réplica	0,456	0,019	0,742	0,098	0,009	0,108	0,348
Etapa 2	0,151	0,009	0,247	0,045	0,008	0,049	0,105
Réplica	0,155	0,009	0,253	0,045	0,008	0,049	0,109
Etapa 3	0,137	0,008	0,264	0,055	0,008	0,059	0,082
Réplica	0,135	0,007	0,262	0,052	0,007	0,048	0,083

Fuente: Elaboración propia

ΔA : Absorbancia: = $(A_{543} - A_{700})_{pH\ 1} - (A_{543} - A_{700})_{pH\ 4,5}$

Tabla IV - 10 Absorbancia ΔA pH: 3,5 – Temperatura 20°C

pH 3,5	0,05 ml de extracto y 3ml KCL			0,05 ml de extracto y 3mL AcNa			ΔA
	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs. 510	Abs 543 Real	Abs Max 700	abs 510	
Etapa 1	0,357	0,021	0,578	0,029	0,008	0,085	0,315
Réplica	0,359	0,022	0,58	0,03	0,008	0,085	0,315
Etapa 2	0,152	0,011	0,247	0,042	0,011	0,045	0,110
Réplica	0,153	0,011	0,249	0,042	0,011	0,045	0,111
Etapa 3	0,141	0,012	0,223	0,039	0,009	0,041	0,099
Réplica	0,137	0,014	0,221	0,036	0,008	0,039	0,095

Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar los datos se absorbancia se realiza las medidas en el espectrofotómetro (Ver especificaciones en ANEXO I).

Tabla IV - 11 Absorbancia ΔA totales pH: 2,5 – Temperatura 40°C

pH 2,5	0,05 ml de extracto y 3ml KCL			0,05 ml de extracto y 3mL AcNa			ΔA
	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs. 510	Abs 543 Real	Abs Max 700	abs 510	
Etapa 1	0,71	0,009	1,116	0,179	0,006	0,182	0,528
Réplica	0,715	0,01	1,126	0,167	0,007	0,18	0,545
Etapa 2	0,213	0,002	0,34	0,055	0,006	0,155	0,162
Réplica	0,215	0,003	0,344	0,054	0,006	0,152	0,164
Etapa 3	0,122	0,009	0,182	0,035	0,004	0,037	0,082
Réplica	0,122	0,009	0,183	0,034	0,004	0,037	0,083

Fuente: Elaboración propia

ΔA : Absorbancia: = (A543 – A700) pH 1 – (A543 – A700) pH 4,5

Tabla IV - 12 Absorbancia ΔA totales pH: 3,5 – Temperatura 40°C

pH =3,5	0,05 ml de extracto y 3ml KCL			0,05 ml de extracto y 3mL AcNa			ΔA
	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs. 510	Abs 543 Real	Abs Max 700	Abs 510	
Etapa 1	0,639	0,01	1,007	0,145	0,006	0,155	0,49
Réplica	0,651	0,01	1,027	0,143	0,006	0,152	0,504
Etapa 2	0,201	0,007	0,317	0,055	0,007	0,059	0,146
Réplica	0,203	0,007	0,321	0,054	0,007	0,059	0,149
Etapa 3	0,107	0,006	0,162	0,037	0,006	0,039	0,07
Réplica	0,107	0,006	0,163	0,036	0,006	0,038	0,071

Fuente: Elaboración propia

ΔA : Absorbancia: = (A543 – A700) pH 1 – (A543 – A700) pH 4,5

Cada uno de los valores mostrados representa la absorbancia que manifiesta el extracto una vez que se prepara el mismo con las soluciones Buffer.

Se observa que a medida que la temperatura aumenta el contenido de antocianinas también incrementa y que a su vez el pH es un factor determinante para la extracción.

Tabla IV - 13 Antocianinas totales 57,897 g muestra pH 2,5 Temperatura 20 °C

Muestra	ATT mg/57,897g coronta
Etapa 1	3466,68848
Réplica	3486,72714
Etapa 2	1052,02974
Réplica	1092,10706
Etapa 3	811,565799
Réplica	796,536803

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV - 14 Antocianinas totales 57,897 g muestra pH 3,5 Temperatura 20 °C

Muestra	ATT mg/57,897g coronta
Etapa 1	3156,08922
Réplica	3156,08922
Etapa 2	1102,12369
Réplica	1113,14572
Etapa 3	991,91375
Réplica	941,83643

Fuente: Elaboración propia

ATT: Antocianinas totales

Tabla IV - 15 Antocianinas totales 57,897 g muestra pH 2,5 Temperatura 40 °C

Muestra	ATTmg/57,897g coronta
Etapa 1	5290,20669
Réplica	5460,53532
Etapa 2	1623,1316
Réplica	1643,17026
Etapa 3	821,58513
Réplica	831,604461

Fuente: Elaboración propia

ATT: Antocianinas totales

Tabla IV - 16 Antocianinas totales 57,897 g muestra pH 3,5 Temperatura 40 °C

Muestra	ATTmg/57,897g coronta
Etapa 1	4909,47212
Réplica	5049,74275
Etapa 2	1462,8223
Réplica	1392,8803
Etapa 3	701,35316
Réplica	711,27491

Fuente: Elaboración propia

ATT: Antocianinas totales

En las siguientes tablas se puede ver las tres etapas de extracción que se hicieron con las muestras, cada una con su réplica representativa; el contenido de antocianinas en la primera etapa es mucho mayor en un 70 -80% comparado con la última.

4.5.ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences)

Tabla IV - 17 Factores Intersujetos

		N
pH	-1,00	4
	1,00	4
Temperatura	-1,00	4
	1,00	4

Fuente: Elaboración propia, SPSS 18.0

La siguiente tabla muestra las variables y su valor que son empleadas para el cálculo estadístico en el SPSS 18.0.

Mediante el Análisis de Varianza Univariante, se determina la influencia de los factores pH y temperatura sobre la variable respuesta rendimiento expresado como los miligramos de antocianina extraída por 57,897 gramos de coronta molida.

4.5.1. DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS PARA DISEÑO FACTORIAL 2²

En la siguiente tabla se puede apreciar el contenido de antocianinas expresado en mg en 57,897 g de coronta molida.

De acuerdo a las variables escogidas para el proceso se determina el contenido de antocianinas en la coronta molida.

Tabla IV - 18 Rendimiento de la extracción

N°	Combinación		Factores		Rendimiento ATT mg/57,897g
	Ph	T	pH	T	Y
1	2,5	20	-1	-1	5410,438662
2	2,5	40	-1	1	7734,92342
3	3,5	20	1	-1	5250,129368
4	3,5	40	1	1	7073,647584
5	2,5	20	-1	-1	5340,303346
6	2,5	40	-1	1	7935,310037
7	3,5	20	1	-1	5220,071375
8	3,5	40	1	1	7253,995539

Fuente: Elaboración propia

ATT = Antocianinas totales

Y = sumatoria de ATT.

T = Temperatura

La siguiente tabla muestra la variabilidad de los datos (pH, Temperatura, interacción y rendimiento) de acuerdo al modelo (lineal) que se determina en el SPSS.

Tabla IV - 19 Anova

Modelo	Suma de cuadrado	Gl	Media cuadrática	F	Sig
Regresión	70136,387	3	23378,796	343,074	,000 ^a
Residual	272,580	4	68,145		
Total	70408,967	7			

Fuente: Elaboración propia

Dado que la significancia es “0” quiere decir que el modelo escogido es correcto.

Tabla IV - 20 Coeficientes

Modelo	Suma de cuadrados tipo III		Sig
	B	Error tipo	
(Constante)	533,529	2,919	,000
Ph	-16,908	2,919	,004
Temperatura	91,426	2,919	,000
pH*Temperatura	-11,063	2,919	,019

Fuente: Elaboración propia

El modelo matemático para la extracción de antocianinas es:

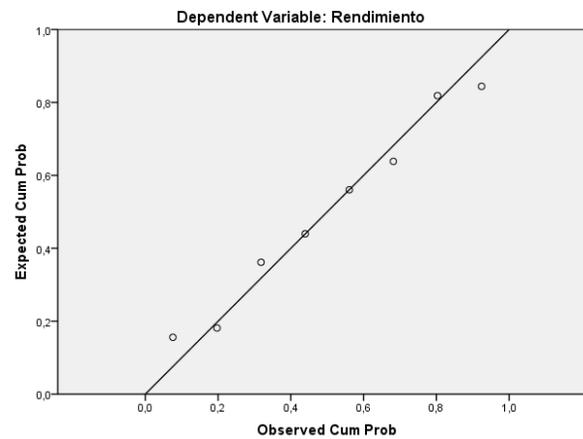
$$Y = 533,529 - 16,908X_1 + 91,426X_2 - 11,063X_1 * X_2$$

$X_1 = \text{pH}$ $X_2 = \text{Temperatura } ^\circ\text{C}$. $X_1 * X_2 = \text{Interacción pH y temperatura}$

$Y = \text{mg de antocianinas}/57,897 \text{ g de coronta}$

Cada una de las variables introducidas y el rendimiento están relacionados con la ecuación.

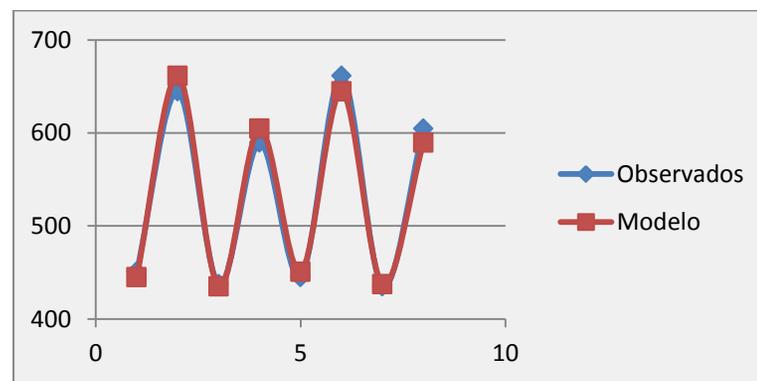
Figura IV - 2 Modelo lineal



Fuente: Elaboración propia, SPSS 18.0.

En la gráfica se puede observar cómo los puntos no se alejan del modelo; existe dos puntos que sí muestran una distancia entre la línea del modelo pero no es tan significativa.

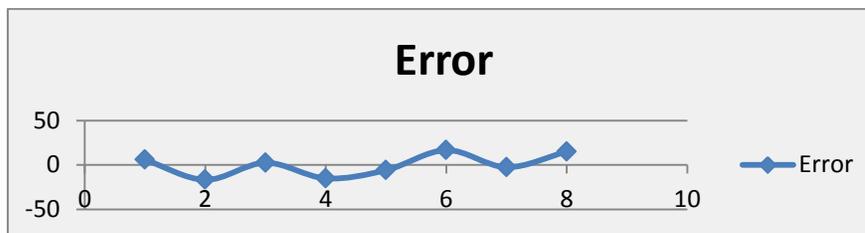
Figura IV - 3 Rendimiento Observado – Rendimiento ideal modelo



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica del rendimiento del modelo ideal se ajusta a la ecuación para el rendimiento del modelo ideal, el nivel de significancia es del 95%; como se puede observar en la gráfica no existe una gran distancia entre los puntos, demostrando de esta manera que la significancia es menor al 0,025 en todas las variables e interacciones (ver tabla IV – 19).

Figura IV - 4 Error entre el Rendimiento observado y modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Elaborando una gráfica se puede apreciar de mejor manera la diferencia entre ambos rendimientos, que es el error entre el rendimiento calculado y el rendimiento observado, estos valores siempre van a aparecer en los experimentos que se realice, debido a que no existe procesos ideales, siempre existirán errores físicos en la elaboración del mismo.

Tabla IV - 21 Análisis de varianza

Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Suma de cuadrado tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	70136,387 ^a	3	23378,796	343,074	,000
Intersección	2277228,566	1	2277228,56	33417,39	,000
pH	2286,937	1	2286,937	33,560	,004
Temperatura	66870,324	1	66870,324	981,295	,000
pH *	979,126	1	979,126	14,368	,019
Error	272,580	4	68,145		
Total	2347637,533	8			
Total Corregida	70408,967	7			

a. R cuadrado= ,996 (R cuadrado corregida = ,993)

Fuente: Elaboración propia

Por último, se puede acotar la siguiente tabla que muestra el análisis de varianza donde el grado de significancia es menor a 0,025 para cada una de las variables.

4.6. COSTOS

Para poder determinar el costo del proyecto se procede a evaluar los costos en materia prima, materiales de laboratorio, reactivos, análisis y material de escritorio

Tabla IV - 22 Costos de elaboración del proyecto

TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)
MATERIA PRIMA				
- Coronta	46	Kilos	0	0
- Transporte materia prima	1	Viaje	180	180
REACTIVOS				
- Etanol	5	Litros	17	85
- Soluciones Buffer	2	Litros	180	360
- Ácido cítrico	1	1000 g	17	17
- Agua destilada	30	Litros	2	60
MATERIAL				
LABORATORIO				
	2	250 ml	27	54
- Vasos precipitados	24	50ml	3	72
- Frascos de plástico	5	Pliegues	4	20
- Papel filtro	20	Bolsas	1,5	30
- Cierre hermético	1	200 g	17	17
- Vidrio reloj	1	100 ml	23	23
- Probeta				
ANÁLISIS CEANID				
- Humedad	1	Análisis	50	50
- Azúcares totales	2	Análisis	85	170
- pH	2	Análisis	20	40

- Acidez	2	Análisis	20	40
- Solitos Totales	2	Análisis	60	120
- Densidad	2	Análisis	30	60
MATERIAL DE ESCRITORIO	3	Papel	26	78
- Resma	4	100 ml	60	240
- Tinta				
TOTAL				1716

Fuente: Elaboración propia

4.6.1. COSTO DE PRODUCCIÓN

A partir de los balances de materia y energía puede estimarse el costo de producción de antocianinas.

De los 57,897 g de coronta se extraen aproximadamente 7,734 g de antocianinas de los cueles se recuperan en la etapa de filtración solo 7,223 g de antocianinas en 420 ml de concentrado.

La siguiente tabla estima el costo de producción sin considerar el salario del operador.

Tabla IV - 23 Costo de funcionamiento de los equipos

Proceso	Requerimiento energético				
	Potencia (kw)	Tiempo (hr)	Energía (kwh)	Costo unitario (Bs/Kw/hr)	Costo Total (Bs)
Molienda	0,25	0,25	0,0625	1,05Bs/Kw/hr	0,0375
Agitación	0,640	6	3,84	1,05Bs/Kw/hr	2,304
Filtración y evaporación	0,57	0,75	0,4275	1,05Bs/Kw/hr	0,2565
Tamizado	0,1	0,25	0,025	1,05Bs/Kw/hr	0,15
Rotavapor	1,32	0,666	0,871	1,05Bs/Kw/hr	0,5226
Total					3,2706

Fuente: Elaboración propia

Los costos son; energía eléctrica 1,05 bs/ KWh (SETAR), de agua es de 0,73 Bs/m³ (COSAALT. LTDA) y el etanol y agua destilada es costo es de 17Bs/litro y 2Bs/litro respectivamente.

Tabla IV - 24 Costo de reactivos

Agua	Volumen (Its)	Costo unitario (Bs)	unidad	Costo total (Bs)
Lavado	2,000	0,02	L	0,04
Baño Rotavapor	4,500	0,02	L	0,09
Agua como refrigerante	47,642	0,02	L	0,953
Total			Bs	1,083
Etanol	1410 ml	17	L	23,97
Agua	750 ml	2	L	1,5
Soluciones buffer	6 ml	360	L	2,15
Ácido cítrico	55 g	17 Bs/Kilo	Kilo	0,935
Total				28,555

Fuente: Elaboración propia

El costo total de producción aproximado es de 31Bs las 7,223 g de antocianina contenidas en 420 ml de concentrado. Considerando que se recupera alrededor de 950ml de etanol el costo de producción se vería reducido a un precio de 14,85 Bs los 7,223 g de antocianinas, lo que equivale a 2,06 Bs el gramo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

Según bibliografía Boliviana sobre la encapsulación de antocianinas realizada en la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz el contenido de antocianinas en 1g de coronta de maíz Zea mays (kulli) corresponde a 104 mg extraídos en dos etapas, lo que es igual a 6,240 g de antocianinas presentes en 60 g de muestra, con un rendimiento acumulado del 87,9 %.

- Las experiencias realizadas a escala laboratorio para la extracción de antocianinas a partir de la coronta de maíz Zea Mays L (Kulli) recolectada en la comunidad de Santa Rosa - Tupiza permitieron la determinación de 7,734 gr de antocianina a partir de 57,897 gr de coronta molida.
- Las características físicoquímica de la materia prima que se determinaron en el trabajo son:
Humedad: 9,13 %
Cenizas: 3,31 %
Fibra: 18,4 %
- El contenido de antocianinas en la coronta se extrae con un mayor rendimiento empleando una mezcla agua etanol al 60 %; la etapa de extracción por ultrasonido tiene un rendimiento de extracción del 69,81 % comparado con la agitación magnética que representa el 100 %.
- Las antocianinas al igual que otros colorantes naturales tienden a ser inestables frente a la temperatura y el pH. Se determina que las condiciones óptimas de trabajo son a un pH de 2,5 y una temperatura de 40 °C dado que a mayores temperaturas existe una degradación de las antocianinas y un pardeamiento del color.

- El contenido de antocianinas totales al final del proceso en estado líquido son de 7223 mg, las pérdidas calculadas son del 7,06% por la etapa de filtración.
- El rendimiento del proceso de extracción es del 12,03 %.
- Las características fisicoquímicas del concentrado de antocianinas obtenidas de acuerdo a los análisis realizados por el CEANID son:

pH: 1,71

Sólidos totales: 1,22

Densidad: 1,0401 g/L

Antocianinas totales: 7,223 mg / 57,897 g de coronta

El concentrado de acuerdo a los análisis realizados por fotolorimetría, tiene las siguientes características.

L* = Luminosidad = 21,11

A* = 39,88

B* = -0,63

C: Cromaticidad: 39,88

H: Ángulo de tono: 332,8 °

IO: Índice de oscurecimiento: 88,029

Código: #630d34



Para el sistema RGB, el concentrado de antocianinas presenta un 38,8% de rojo, 5,1% de verde y 20,4% de azul.

- Según el balance de materia y energía el costo de obtención del extracto rico en antocianinas es de 2,06 Bs por cada gramo de coronta.
- La manera adecuada de presentar el extracto de forma comercial es en estado sólido, debido a que se tiene menor índice de degradación.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de solventes no tóxicos en la etapa de extracción, debido a que si se desea incluir las antocianinas en materias alimenticias, es vital que no sean tóxicas, pues cualquier remanente tóxico puede afectar la calidad de vida del ser humano.
- Se recomienda realizar análisis de determinación del índice de fenoles totales (FT), y la capacidad antioxidante de la coronta de maíz morado dada la importancia de su aplicación en el uso medicinal y alimenticio.
- Se recomienda realizar una etapa de liofilización o secado spray para la obtención de antocianinas en polvo, las antocianinas tienden a tener un tiempo de vida menor si las condiciones del producto estan en estado líquido.

