

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“CINÉTICA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN
DE ANTOCIANINAS DE LA CORONTA DEL
MAIZ MORADO EN MEDIO ACUOSO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

**MORENO Balsa JACQUELINE LIZETH
SILVA VALERIO EDWARD LEONARDO**

Callao, octubre, 2018
PERÚ

Jacqueline Lizeth Moreno Balsa
JMB
Edward Leonardo Silva Valerio
ESV

Callao

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por los Bachilleres MORENO Balsa JACQUELINE LIZETH Y SILVA VALERIO EDWARD LEONARDO ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	: PRESIDENTE
ING. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL	: SECRETARIO
ING. RANGEL MORALES FABIO MANUEL	: VOCAL
ING. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	: ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 2 Folio N° 117 y Acta N° 300 de Sustentación por la Modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de fecha **26 DE OCTUBRE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011 y Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012.

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él hemos logrado concluir nuestra carrera.

A nuestros padres quienes nos dieron la vida, educación, apoyo incondicional que con espíritu alentador contribuyen al logro de nuestras metas y objetivos propuestos.

A nuestros hermanos que con su apoyo constante contribuyeron durante toda nuestra carrera universitaria.

Al Ing. Luis Carrasco que siempre confió en nosotros y por su apoyo incondicional para el logro de esta meta.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestros agradecimientos:

A nuestras familias que siempre nos apoyaron y estuvieron pendientes de nuestros logros a lo largo de nuestra vida, en especial en el culmino de nuestra carrera profesional, gracias por estar ahí siempre.

A la Universidad Nacional del Callao por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales, en especial a la Facultad de Ingeniería Química, por darnos la oportunidad de estudiar sobre sus aulas, y brindarnos las facilidades en el uso de los laboratorios de química para la realización de la presente tesis.

A nuestro asesor el Ing. Luis Américo Carrasco Venegas por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, apoyarnos cada detalle de lo que requeríamos, así como habernos tenido toda la paciencia del mundo para guiarnos durante el desarrollo de la tesis

A los docentes y personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Química por ayudarnos y proporcionarnos la enseñanza requerida en nuestra carrera y los conocimientos para llevar a cabo nuestro trabajo.

A nuestros amigos por su compañerismo, amistad y apoyo moral durante toda la carrera profesional.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRAFICOS	8
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1. Identificación del problema	11
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.4. Justificación	14
1.5. Importancia	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes del estudio.....	16
2.2. Cinética Química	20
2.2.1. Orden de Reacción.....	21
2.2.2. La Velocidad de Reacción.....	22
2.2.3. Reacción de Orden Cero.....	23
2.2.4. Reacción de Primer Orden	24
2.2.5. Reacción de Segundo Orden.....	25
2.3. Marco Conceptual	26
2.3.1. Colorantes	26
2.3.2. Colorantes Sintéticos	29
2.3.3. Colorantes Naturales	30
2.3.4. Maíz Morado.....	33
2.3.5. Antocianinas.....	43
2.3.6. Definición de términos	65
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	70
3.1. Variables de la investigación.....	70
3.2. Operacionalización de variables	71
3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas.....	72
IV. METODOLOGÍA.....	73
4.1. Tipo de investigación	73
4.2. Diseño de investigación	74

4.3.	Población y muestra	75
4.4.	Técnicas e instrumentos de Recolección de datos	75
4.4.1.	Instrumentos de recolección de datos.....	75
4.4.2.	Técnicas.....	76
4.4.3.	Técnicas de análisis	81
4.5.	Procedimientos de recolección de datos	83
4.6.	Procesamiento estadístico y análisis de datos	86
4.6.1.	Procesamiento estadístico.....	86
4.6.2.	Análisis de datos	86
V.	RESULTADOS	88
5.3.	Resultados del análisis estadístico	102
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	108
6.1.	Contrastación de hipótesis con los resultados	108
6.2.	Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	111
VII.	CONCLUSIONES.....	112
VIII.	RECOMENDACIONES	113
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
X.	ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA N° 2.1 Frecuencia vs longitud de onda	28
FIGURA N° 2.2 Maíz Morado	33
FIGURA N° 2.3 Estructura Química de la antocianina	44
FIGURA N° 2.4 Transformaciones estructurales de las antocianinas frente a variaciones en el ph (basado en cianidina 3,5 diglicósido)	48
FIGURA N° 2.5 Concentrado de maíz morado	64

CAPÍTULO III

FIGURA N° 3.1 Relación de las variables de la investigación	70
---	----

CAPÍTULO IV

FIGURA N° 4.1 Diseño de la investigación	74
FIGURA N° 4.2 Muestra de maíz morado	77
FIGURA N° 4.3 Desgranado y Pesado de la materia prima	78
FIGURA N° 4.4 Rebanado de la materia prima	78
FIGURA N° 4.5 Pesado de la materia prima	79
FIGURA N° 4.6 Extracción distintas temperaturas	80
FIGURA N° 4.7 Muestras de Antocianina a distintos tiempos de extracción	81
FIGURA N° 4.8 Muestras de antocianina a distintos tiempos de extracción llevados a tubos de ensayo para su determinación en espectrofotómetro	83

CAPÍTULO V

FIGURA N° 5.1 valores de la tabla N° 5.7 al polymath	98
FIGURA N° 5.2 Modelo cinético de extracción simplificado y los parámetros iniciales	99
FIGURA N° 5.3 Resultado del polymath: constantes cinéticas y el orden del modelo de extracción	100

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

TABLA N° 2.1	
Colores en el espectro visible a diferentes longitudes de onda	28
TABLA N° 2.2 Colorantes flavonoides	30
TABLA N° 2.3 Colorantes carotenoides	31
TABLA N° 2.4 Colorante tipo quinona	31
TABLA N° 2.5 Clasificación Botánica	34
TABLA N° 2.6 Dimensiones de mazorcas y granos del maíz morado	35
TABLA N° 2.7	
Composición fisicoquímica de la coronta y el grano del maíz morado – morado canteño	36
TABLA N° 2.8	
Producción nacional del maíz morado expresado en toneladas	40
TABLA N° 2.9	
Contenido aproximado de antocianina en el maíz morado seco	41
TABLA 2.10	
Estructuras y modelos de la sustitución de algunas antocianinas que ocurren naturalmente	44
TABLA 2.11 Contenido de antocianinas en algunas materias primas	50
TABLA 2.12	
Evolución de las exportaciones de antocianina y de maíz morado en valor FOB	53
TABLA 2.13	
Evolución de las exportaciones de antocianina y del maíz morado en kg	54
TABLA 2.14 Empresas exportadoras de antocianina en valor FOB	54

TABLA 2.15	
Mercados para la exportación de antocianina, durante el periodo 2008 -2012, expresados en valor FOB	55
TABLA 2.16	
Mercados para la exportación de maíz morado, durante el periodo 2008 -2010, expresados en kg	56
TABLA 2.17	
Exportadores del sistema armonizado: 320300 materias colorantes de origen vegetal o animal, en miles de US\$	56
CAPÍTULO III	
TABLA N° 3.1 Operacionalización de variables	71
CAPÍTULO IV	
TABLA N° 4.1 Posición Taxónomica	77
TABLA N° 4.2 Tabla de muestras a realizar	79
TABLA N° 4.3 Definición de variables y sus niveles	84
TABLA N° 4.4 Arreglo ortogonal de Experimentos	85
TABLA N° 4.5 Tipo de Variable de la Investigación	86
CAPÍTULO V	
TABLA N° 5.1 Curva de Calibración de la antocianina patrón	88
TABLA N° 5.2	
Lecturas de absorbancia y concentración de las soluciones de antocianina pura	89
TABLA N° 5.3	
Resultados de la absorbancia en proceso de obtención de antocianina a 50°C	90
TABLA N° 5.4	
Resultados de la absorbancia en proceso de obtención de antocianina a 60°C	92

TABLA N° 5.5 Resultados de la absorbancia en proceso de obtención de antocianina a 70°C	93
TABLA N° 5.6 Tiempo y concentración a 50°C, 1cm de espesor y peso de 20.209g	96
TABLA N° 5.7 Concentración ajustada y derivada de la concentración de antocianina en función al tiempo a 50°C, 1cm de espesor y peso de 20.209g	97
TABLA N° 5.8 Valores de las constantes cinéticas, del orden del modelo de extracción y la precisión respecto a los parámetros iniciales tomados de la coronta del maíz morado	101
TABLA N° 5.9 Valores de $C_{m\acute{a}x}$ y %p/p de antocianina	103

ÍNDICE DE GRAFICOS

CAPITULO V

GRAFICO N° 5.1 Curva de calibración de antocianina pura	89
GRAFICO N° 5.2 Tiempo vs Concentración	96
GRAFICO N° 5.3 Comparación entre las gráficas experimental y calculada	100
GRAFICO N° 5.4 Prueba de normalidad de los datos % P/P antocianina / maiz	104
GRAFICO N° 5.5 Gráfica de efectos principales	106
GRAFICO N° 5.6 Gráfica de interacciones	107

RESUMEN

En el presente estudio se desarrolló la cinética de extracción de la antocianina de coronta de maíz morado (*Zea Mays L.*), para ello se extrajo la antocianina en diversas corridas, haciendo variar su temperatura, espesor y peso de coronta, se usó materia prima proveniente de Pacarán – Cañete – Perú. Todo este proceso se desarrolló a nivel de laboratorio y en medio acuoso, para la evaluación estadística de las concentraciones de antocianina extraída se usó el software minitab, del cual se llegó a determinar un orden de extracción en condiciones óptimas en nuestra operación resultó $k = -0.0511031 \left(\frac{g}{ml}\right)^{-0,0376} s^{-1}$ y una constante $b = 4,285 \times 10^{-7} g/ml.s$.

Y se demostró que existe una relación inversa con el espesor de coronta de maíz morado y el espesor más óptimo resulto el de 1cm para nuestras pruebas experimentales, una relación directa con la temperatura de extracción y la más óptima para nuestras pruebas experimentales resulto a 60°C y una relación inversa con el peso de coronta/ volumen de agua donde el peso más óptimo para nuestras pruebas experimentales resulto de 5 gr.

Confirmando así la influencia de la temperatura, peso de coronta/ volumen de agua, tamaño de partícula en la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado.

Palabras clave: Antocianina, colorantes naturales, cinética, extracción, espectrofotometría.

ABSTRACT

In the present study, the kinetics of extraction of anthocyanin from purple corn-kernel (*Zea Mays L.*) was developed, for which the anthocyanin was extracted in different runs, varying its temperature, thickness and weight of crown, raw material was used from Pacarán - Cañete - Peru.

All this process was developed at the laboratory level and in aqueous medium, for the statistical evaluation of the anthocyanin concentrations extracted, the minitab program was used, from which an order of extraction under optimal conditions in our operation resulted $k = -0.0511031 \left(\frac{g}{ml}\right)^{-0,0376} s^{-1}$ and a constant $b = 4,285 \times 10^{-7} g/ml$.

And it was shown that there is an inverse relationship with the thickness of purple corn crown and the optimum thickness was 1cm for our experimental tests, a direct relationship with the extraction temperature and the most optimal for our experimental tests resulted at 60 ° C and an inverse relationship with the crown weight / volume of water where the most optimal weight for our experimental tests resulted in 5 gr.

Confirming the influence of temperature, crown weight / water volume, particle size on the kinetics of the anthocyanin extraction process of purple corn.

Key words: Anthocyanin, natural dyes, kinetics, extraction, spectrophotometry.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Los consumidores afirman el reemplazo progresivo de colorantes sintéticos por colorantes naturales en los alimentos. La tendencia a consumir productos naturales es cada vez más fuerte y el uso de ellos es considerado un atributo de calidad del producto.

Últimamente, la seguridad de los pigmentos sintéticos ha sido cuestionada, conduciendo a la reducción en el número de colorantes permitidos.

Las antocianinas son pigmentos naturales que se clasifican dentro del grupo de los flavonoides. El interés por las antocianinas se ha incrementado progresivamente debido a su potencial uso como colorantes naturales.

Las antocianinas son pigmentos responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul de muchas frutas, vegetales y cereales. El interés en estos pigmentos se ha intensificado gracias a sus efectos terapéuticos y benéficos, dentro de los cuales se encuentran la reducción de la enfermedad coronaria, los efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatoria y antidiabética; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo. Las propiedades bioactivas de las antocianinas abren una nueva visión

para la obtención de productos coloreados con valor agregado para el consumo humano sus potenciales beneficios en la salud.

Las antocianinas son pigmentos solubles en agua, lo que facilita su incorporación en los sistemas acuosos alimentarios. Estas cualidades hacen que estos colorantes naturales sean atractivos como pigmentos naturales inocuos con considerable potencial en la industria alimentaria de productos con un rango de pH ácido.

Por esta razón, se ha incrementado la demanda del producto, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas técnicas para la obtención de antocianinas a grandes escalas y en particular la de origen natural.

En el Perú producimos maíz morado *Zea Mays L.*, una mazorca que contiene el pigmento denominado antocianina - cianidina - 3b - glucosa. El cultivo del maíz morado peruano es reconocido por su gran valor nutritivo que es mayor que los demás, ya que los pisos ecológicos y el clima proporcionan una calidad superior. Nuestra ubicación geográfica es privilegiada con el resto de países productores como México, Chile, Bolivia, Ecuador y otros.

Por lo tanto, poseemos una especie de monopolio temporal porque los demás países tardarán en superar nuestro producto de forma natural y orgánica

Las antocianinas obtenidas del maíz morado son pigmentos vegetales con gran potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos; por lo tanto, es de gran importancia conocer la cinética de extracción de la antocianina de la coronta del maíz morado, la cual nos permitirá conocer las condiciones en las cuales los pigmentos son más intensos en fase acuosa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye el tamaño de partícula de la coronta del maíz morado en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado?
- b) ¿Cómo influye la relación peso de coronta/ volumen de agua en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado?
- c) ¿Cómo influye la temperatura en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la cinética del proceso de extracción de las antocianinas de la coronta del maíz morado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Conocer la influencia del tamaño de partícula en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado
- b) Conocer la influencia de la relación peso de coronta/ volumen de agua en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado.
- c) Conocer la influencia de la temperatura en la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado.

1.4. Justificación

La razón que justifica la presente investigación es la siguiente:

La presente investigación significará un aporte al conocimiento teórico de la cinética del proceso de extracción de antocianinas a partir de coronta de maíz morado en medio acuoso.

La presente investigación aportará información que se requiere para la producción óptima de antocianina a partir de coronta de maíz morado el cual es originario del Perú y es comercializado a todo el mundo.

1.5. Importancia

La toxicidad de los colorantes sintéticos usados en cosméticos, alimentos y productos farmacéuticos, genera creciente preocupación. Se hace necesaria la satisfacción de necesidades hacia el mercado de colorantes naturales. Por ello se ha dirigido el interés hacia el estudio de las antocianinas. Ya que estos presentan por factores como su misma estructura química, Ph, temperatura, concentración y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad del pigmento lo cuales es estudiado mediante la cinética de extracción que será de aporte a las industrias que extraen este colorante a partir de corontas de maíz morado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En la actualidad en la industria alimentaria, cosmetológica y farmacéutica son utilizados una gran cantidad de compuestos obtenidos por vía sintética que ocasionan graves daños a la salud, entre los cuales se encuentran los colorantes. Por esto, la tendencia actual es sustituir estos colorantes sintéticos de amplio uso por pigmentos de origen natural, sobre todo de compuestos que imparten coloraciones rojos brillantes que brindan un aspecto más atractivo para la comercialización de algunos productos.

En estudios recientes, se ha reportado que las antocianinas inhiben el crecimiento de las células cancerígenas y ayudan a prevenir el cáncer del colón y evitan enfermedades del corazón al inhibir la síntesis del colesterol, mejoran la circulación y fragilidad de los vasos capilares, logrando beneficios antienvjecimiento.

- “De colorantes sintéticos a naturales en la Industria Alimentaria” Chile.

La decisión de los fabricantes de aditivos de producir colorantes naturales para la industria alimentaria se vio acelerada por la publicación de un estudio realizado por la Universidad de Southampton y solicitado por la FSA del Reino Unido (Food Standards Agency). El objetivo del

estudio fue verificar el efecto de la mezcla de seis colorantes sintéticos con benzoato sódico, usado frecuentemente como preservante en bebidas refrescantes y en otros productos consumidos por niños. El resultado concluyó que la hiperactividad infantil se podría ver exacerbada por el uso de esta mezcla. Chris Brockman, analista Senior Global en alimentos y bebidas de Mintel, confirma que este estudio ha acelerado la tendencia hacia el uso de colorantes naturales en Europa y otros mercados, ya que la demanda de los consumidores por formulaciones más naturales aumenta y los principales productores y distribuidores minoristas buscan eliminar gradualmente los ingredientes sintéticos. (Carmona Iris,2013)

- “Obtención y Evaluación de la Estabilidad de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) en Bebidas” Colombia

Se obtuvo extractos de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) con maltodextrina mediante secado por aspersion, evaluándose la estabilidad del pigmento en polvo en bebidas isotónicas y bebidas a base de aloe vera. Las condiciones de secado por aspersion fueron temperatura de entrada de aire de 180 °C y concentración de sólidos en la alimentación del 30 % (en masa). En las bebidas con pigmento se analizaron los cambios en color y contenido de antocianinas durante el almacenamiento del producto a 4 °C y 25 °C. La temperatura de almacenamiento influyó en la estabilidad de antocianinas y también en los parámetros de color, siendo la temperatura de 25 °C la que produce

mayor velocidad de degradación en ambas bebidas. La bebida isotónica y la bebida a base de aloe vera con maltodextrina y almacenada a 4 °C presentaron mayor retención de antocianinas (54 y 77.5 % respectivamente). (Arrazola G., Herazo I. y Alvis A.,2013)

- “Estudios de cinética y cálculos teóricos de constantes de acidez para antocianinas presentes en el maíz criollo azul”. México

Los estudios de cinética se realizaron en agua (pH 6) y en el buffer de citratos 50 mM a pH 3,4. Para el caso del agua se pesaron 65 mg del extracto liofilizado, disolviéndose en el solvente y aforando a 10 ml. Para el buffer se siguió el mismo procedimiento que para el caso del agua, pero únicamente se pesaron 31 mg de antocianina liofilizada.

Según lo reportado por Harbone, en general, las antocianinas en solución presentan 2 bandas para los flavonoides (Banda I y II); para el caso de las antocianinas la Banda II se presenta entre 240 y 285 nm (banda intensa) y la Banda I entre 480 y 550 nm, siendo la primera más intensa (Castañeda Araceli, 2004).

- “Extracción de antocianinas de las corontas de Zea mays L. maíz morado” Perú.

La extracción de antocianinas del maíz morado, se expresa como mg de antocianina/g de coronta, de acuerdo con el diseño factorial que evaluó los factores: solvente de extracción en los niveles; agua, EtOH al 20 % y 40 % medio de extracción a pH 2 y 4; temperatura de extracción a

25, 60, 75 y 90°C; y tiempo de extracción a 30, 60, 120 y 240 min, para así determinar las mejores condiciones de extracción de antocianinas.

El análisis individual de los factores y sus interacciones corroboran que la extracción de antocianinas de coronta del maíz morado depende de la temperatura y el tiempo de extracción, siendo favorecidas por el medio etanólico al 20% y pH entre 2 y 4, alcanzando valores 46,534 mg de antocianina/g muestra. (Gorriti Arilmi y otros, 2009)

- “Extracción y cuantificación de antocianinas a partir del grano de *Zea mays* L. (maíz morado)”. Perú.

Mediante el análisis fotoquímico se pudo determinar cualitativamente la presencia de flavonoides, compuestos fenólicos, glicosidos y taninos.

Resultado positivo para estos metabolitos y negativo para alcaloides y los esteroides por lo que este extracto de maíz morado contiene mayor cantidad de compuestos fenólicos y glicosidicos que le otorgan sus propiedades terapéuticas.

Se logró obtener el pigmento natural, por procesos de ensayos a nivel de laboratorio, obteniéndose un rendimiento de 2,25 % del pigmento natural en cada extracción. (Sotomayor Rosa, 2010)

2.2. Cinética Química

Sandoval (2015) indica que la cinética química involucra el estudio de la velocidad y mecanismos por el cuál una especie química se convierte a otro.

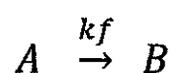
La cinética de extracción nos muestra el comportamiento del proceso, las respuestas ante temperatura, concentración de solvente y tiempo, relacionarlas con las ecuaciones adecuadas, que nos permitirán obtener coeficientes que describan el fenómeno y modelo matemático que se ajuste al proceso.

Según Sandoval (2015) la cinética química trata de medir las velocidades de las reacciones y encontrar ecuaciones que relacionen la velocidad de una reacción con las variables experimentales.

El objetivo principal de este trabajo es establecer la cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta de maíz morado en medio acuoso, para su uso posterior uso como colorante natural.

La cinética química mide las velocidades de las reacciones para encontrar ecuaciones que relacionen la velocidad de una reacción con variables experimentales.

Por ejemplo, una reacción simple sería:



Donde:

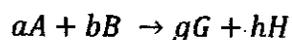
A es reactante; C, es el producto y k_f es la constante de velocidad hacia adelante.

2.2.1. Orden de Reacción

Es la relación que permite conocer dependencia que hay entre la velocidad de reacción y la concentración de los reactivos.

El orden de reacción o llamado orden total de reacción, es la suma de los exponentes de las concentraciones, pues que el orden depende del reactivo que se analice.

Para una reacción hipotética de la forma:



La velocidad de reacción se define como la siguiente expresión

$$v = k [A]^\alpha [B]^\beta$$

(Las concentraciones están elevados a su coeficiente cinético correspondiente sólo en el caso en el que la reacción sea elemental).

Los corchetes denotan la concentración de cada una de las especies, v denota la velocidad de reacción y k la constante cinética

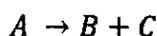
2.2.2. La Velocidad de Reacción

La velocidad de reacción está conformada por la rapidez de formación y de descomposición. Esta velocidad depende de varios factores y no es constante ya sea por la concentración de los reactivos, la presencia de un catalizador, la temperatura y estado físico de los reactivos.

Tradicionalmente se aplica la cinética de reacción para controlar cambios químicos que ocurren en un sistema, no obstante, pueden describirse otros cambios fisicoquímicos como los cambios de textura, color que se producen en sistemas alimentarios que se pueden describir utilizando las velocidades de reacción.

La medida de la rapidez de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, para realizar una medición correcta necesitamos medir correctamente la cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo, la velocidad de reacción se mide en unidades de concentración/tiempo, esto es (mol/l)/s es decir, mol/(l-s).

Para una reacción de la forma:



La ley de la velocidad de formación es la siguiente:

$$v_t = - \frac{d C_A}{dt}$$

v_t es la velocidad de la reacción, $(-d C_A)$ la disminución de la concentración del reactivo A en un tiempo dt . Esta velocidad es la velocidad media de la reacción, pues todas las moléculas necesitan tiempos distintos para reaccionar.

La velocidad de aparición del producto es igual a la velocidad de desaparición del reactivo. De este modo, la ley de la velocidad se puede describir de la siguiente forma:

$$v_t = - \frac{d C_A}{dt} = \frac{d C_B}{dt} = \frac{d C_C}{dt}$$

Este modelo puede expresarse en otras simplificaciones respecto a su temperatura, presencia de catalizadores, presión parcial de gases, cantidad de reactivos en proporción a la cantidad de los productos y del disolvente.

2.2.3. Reacción de Orden Cero

Según Sandoval (2015) en este tipo de reacciones, la velocidad es independiente de la concentración. Esto puede ocurrir en dos situaciones diferentes.

Cuando la velocidad de reacción es independiente de la concentración del reactante y

Cuando la concentración del reactante es tan grande que la velocidad de reacción global parece ser independiente de su concentración.

Para las reacciones de orden cero, asumiendo que $n = 0$, la ecuación diferencial ordinaria queda expresada de la siguiente manera:

$$A = A_0 - kt \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

A: concentración final del atributo medido.

A₀: Concentración inicial del atributo medido.

K: constante de velocidad de degradación del atributo medido.

t: tiempo de almacenamiento

2.2.4. Reacción de Primer Orden

Tomando la ecuación cinética de primero orden queda expresada de la siguiente manera.

$$\ln[A] = \ln[A_0] - k \dots \dots \dots (2)$$

La mayoría de las reacciones implicadas en el procesamiento y almacenamiento de los alimentos como la degradación de vitaminas, degradación de antocianinas durante el almacenamiento de alimentos

coloreados, produciendo una pérdida en la apariencia del mismo, siguen una cinética de reacción de primer orden.

2.2.5. Reacción de Segundo Orden

Según Sandoval (2015) las reacciones de segundo orden ($n=2$), no son tan frecuente en los sistemas alimentarios, debido a la naturaleza bimolecular de las reacciones. Esto viene a demostrar que la cinética observada experimentalmente no corresponde necesariamente a un mecanismo real.

La ecuación de segundo orden es la siguiente:

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A_0]} + kt \dots \dots \dots (3)$$

Una manera de expresar el tiempo requerido para perder la mitad de la concentración de los factores deseable $[A]$ o ganar la mitad de la concentración de factores indeseables $[B]$.

El tiempo de vida media está dado por:

$$t_{1/2} = -\ln \frac{\left(\frac{1}{2}\right)}{k_1}$$

Modelo de Arrhenius:

Según Sandoval (2015) la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción se puede describir utilizando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius.

El modelo de Arrhenius que relaciona la velocidad de una reacción química a los cambios de temperatura es el modelo aceptado con validez comparada experimentalmente.

Representada de la siguiente manera

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)$$

Donde:

$k_0 =$ *factor pre – exponencial*

$Ea =$ *energía de activación*

$R =$ *Constante de los gases* $(1,987 \frac{cal}{Kmol})$

$T =$ *temperatura absoluta en °K.*

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Colorantes

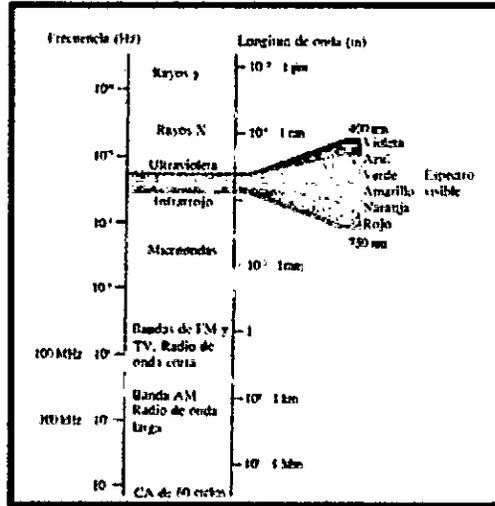
Colorante se denomina al compuesto orgánico que aplicándolo a una base (generalmente papel, plásticos, cuero o alimento) le otorga un color más o menos permanente. Los colorantes se aplican en

disoluciones o emulsiones y la base debe tener cierta afinidad para absorberlo. Los colorantes en general son solubles en el medio que se aplican o en el producto final. io en el que se aplican o en el producto final.

- **Color**

Los elementos coloreados absorben luz en la región visible del espectro (380 a 750 nm). Los elementos presentan el color adicional del que absorbe ya que este se resta de la luz reflejada o transmitida. Los elementos que no absorben la luz visible son blancas o incoloras, y los que absorben todas las longitudes de onda son negras. Si la banda de absorción es penetrante el color es brillante, mientras que una banda amplia y difusa da lugar a un color opaco.

FIGURA N° 2.1
FRECUENCIA VS LONGITUD DE ONDA



Fuente: Pino, 1983

TABLA N° 2.1
COLORES EN EL ESPECTRO VISIBLE A DIFERENTES
LONGITUDES DE ONDA

Longitud de onda absorbida (nm)	Color absorbido	Color restante
490 - 500	Azul verde	Rojo
500 - 560	Verde	Purpura
560 - 580	Amarillo verde	Violeta
580 - 595	Amarillo	Azul
595 - 605	Naranja	Verde azul
605 - 750	Rojo	Azul - verde

Fuente: Pino, 1983

La absorción de radiación se debe a que los electrones de las moléculas pasan a una etapa electrónica superior por la acción de un "quanto" de radiación. Las diferencias entre niveles de energía se acortan en moléculas con varios dobles enlaces conjugados, y la energía proporcionada a la luz visible es la suficiente para originar transiciones electrónicas permitidas entre orbitales. Ejemplos: $\pi \rightarrow \pi^*$ (benceno: $\lambda=256$ nm, 469 kJ/mol; etileno: $\lambda=165$ nm, 727 kJ/mol) y $n \rightarrow \pi^*$ (formaldehído: $\lambda=305$ nm, 395 kJ/mol) ($\sigma \rightarrow \sigma^* \approx 200$ nm). En cuanto mayor sea el número de dobles enlaces conjugados, mayor será la luz absorbida de la longitud de onda, y mayor la intensidad de absorción de la banda.

2.3.2. Colorantes Sintéticos

Son aquellos compuestos orgánicos altamente solubles en agua, y se utilizan en los alimentos, flores, teñido de textiles, medicinas, etc. La mayoría de colorantes sintéticos tienen como particularidad un doble enlace nitrógeno-nitrógeno ($N = N$). La generación de desechos y efluentes que contienen estos colorantes, representan uno de los mayores problemas de contaminación ambiental ya que durante el proceso de teñido un 15 - 50% del colorante utilizado queda como subproducto y se vierte en las masas de agua como agua residual, con la repercusión de la interferencia en los procesos de la vida acuática, ya que frena el paso de la luz y produce deterioro al entorno. Además, aun cuando los colorantes sintéticos no son tóxicos, existe la posibilidad de

que el grupo azo se reduzca produciendo aminas aromáticas las cuales si son perjudiciales ya que la unión azo puede romperse con facilidad.

2.3.3. Colorantes Naturales

Los colorantes naturales contienen pigmentos procedentes de fuentes naturales tales como animales, minerales o vegetales, y productos que se derivan de sustancias naturales.

Los colorantes naturales se pueden agrupar en diferentes formas: características físicas, características químicas, etc.

- Características químicas:

a) colorantes flavonoides. Son 4 grupos principales:

TABLA N° 2.2
COLORANTES FLAVONOIDES

Grupo	Color	Procedencia
Flavonol	Amarillo	Bidens
Flavonona	Crema amarillo	Perejil
Calcona	Rojo y amarillo	Cártamo
Antocianina	Rojo y violeta	Tinantía

Fuente: Shirata, 1996.

b) colorantes Carotenoides: son 2 grupos principales:

TABLA N° 2.3
COLORANTES CAROTENOIDES

Grupo	Color	Procedencia
Caroteno	Anaranjado	Zanahoria
Xentofila	Amarillo	Achiote

Fuente: Shirata, 1996.

c) Colorantes tipo quinona: son 2 grupos:

TABLA N° 2.4
COLORANTES TIPO QUINONA

Grupo	Color	Procedencia
Antroquina	Rojo	Rubia cochinilla
Naftoquinona	Violeta	Henna

Fuente: Shirata, 1996

d) Derivados de Indol

E) Derivados de Delfinidin

f) Derivados de Dihidropilano

g) Grupo betaleina

h) Grupo Xntonas

i) Grupo tanino

J) Grupo clorofila

- Características físicas:

a) Colorantes Directos: Siendo el conjunto de colorantes de antocianina, carotinoides derivados de calcona. Los colorantes son conseguidos de una solución acuosa y este tinte extraído se usa directamente para teñir o colorear en caliente o en frío. A veces se usa sustancias complementarias como ácidos o sales. Como ejemplo tenemos la flor de cártamo, cúrcuma, azafrán, cempoalxóchitl, etc

b) Mordentados. Estos colorantes no tienen por sí mismos la capacidad de entintar, solo usando un procedimiento especial de sales metálicas solubles que reaccionan sobre el sustrato o fibra. Esta técnica se usa en la mayoría de las plantas que dan color como la gardenia, cempoalxóchitl, rubia, cochinilla, palo de Campeche y de Brasil, etc

c) Tipo de Reducción: Procedentes del Indol. estos tintes colorantes se hallan dentro de los cuerpos vegetales o animales, pero son insolubles, para proporcionar solubilidad se les aplica una sustancia reductora, obteniéndose una solución incolora que se aplica al sustrato o fibra y posteriormente, mediante una oxidación surge el color, como ejemplo está el añil.

d) Pigmentos: trazas de materiales minerales, son insolubles que no tienen la capacidad de entintar, por lo cual solo pueden utilizarse mezclándose con otras sustancias como la resina, engrudo, cola, clara de huevo, caseína, etc., con los que se forma una pasta para pintar.

2.3.4. Maíz Morado

El Maíz Morado es la especie morada del *Zea mays* L. Es una planta oriunda del Perú que se cultiva en la zona subtropical de los valles bajos de los Andes, en donde se le llama "Kculli" (en quechua) y se usa como sustento alimenticio, desde hace milenios. El maíz morado forma una de las muchas variedades de la especie *Zea mays* L. Este maíz toma la calificación de "morado" cuando la tusa o coronta, el pericarpio y las glumas muestran un color muy oscuro, cercano a negro, por la acumulación de pigmentos antociánicos, que son manejados desde la antigüedad en el Perú para la preparación de la mazamorra y la chicha morada. Actualmente el pigmento antociánico del maíz morado es empleado por las industrias farmacéuticas y alimentarias, que en los más recientes años ha originado un gran interés por la línea de los productos y colorantes naturales, con mayor acogida en los países desarrollados, donde se limita el uso de colorantes artificiales.

FIGURA N° 2.2
MAÍZ MORADO



Fuente: Inkanat, 2003

TABLA N° 2.5
CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Reino:	Vegetal
División:	Fanerógama
Sub división:	Angiosperma
Sub clase:	Giomiflora
Orden:	Graminea
Tribu:	Maudeae (tripsaceae)
Género:	Zea
Nombre común:	Maíz morado

Fuente: Manrique Ch. A. 1995

Descripción

- Porte: Hierba anual vigorosa, de tallo nudoso, erguido y macizo, entre 60 cm y más de 6 m de altura. Raíz fasciculada y fibrosa.

- Hojas: alternas, lineales o lineal-lanceoladas, largas. Flores: monoicas (las masculinas se encuentran separadas de las femeninas pero en la misma planta). Flores masculinas dispuestas en una inflorescencia de tipo panícula de aprox. 30 cm de largo (en la parte terminal del tallo) que está formada por racimos que llevan numerosas flores pequeñas llamadas espiguillas, dispuestas en pares, de 8 mm a 12 mm de largo. La inflorescencia femenina es una estructura axilar única,

variable en tamaño y forma, llamada mazorca, con varias hojas modificadas (brácteas) llamadas panca que envuelven el grueso eje central (coronta) sobre el cual se distribuyen las espiguillas en filas; las espiguillas están en pares.

- Fruto: cariósipide (grano) de tamaño, forma, color y contenido de azúcar-almidón variables, se disponen sobre el receptáculo cilíndrico o raquis (coronta). La longitud de la mazorca oscila entre 7,5 cm y 50 cm. El color de los granos puede ser blanco, amarillo, rojo, morado, marrón, verde, azul o morado.

TABLA N° 2.6

DIMENSIONES DE MAZORCAS Y GRANOS DEL MAÍZ MORADO

CARACTERÍSTICAS	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
Largo de la mazorca (cm)	15.0	20.0	12.0
Ancho de la mazorca (cm)	5.0	5.8	4.0
Número de hilera	10.0	12.0	8.0
Número de granos por hilera	25.0	36.6	18.0
Largo del grano (mm)	11.6	13.0	10.4
Ancho del grano	5.6	6.2	5.0
Espesor del grano (mm)	6.0	6.5	5.5

Fuente: ALARCÓN, 2015

TABLA N° 2.7

COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CORONTA Y EL GRANO DEL MAÍZ MORADO – MORADO CANTEÑO

COMPONENTE	PORCENTAJE	
	GRANO	CORONTA
Humedad	11.4	11.2
Proteína	6.7	3.74
Grasa	1.5	0.32
Fibra	1.8	24.01
Ceniza	1.7	3.31
Carbohidratos	76.9	57.42
TOTAL	100.00	100.00

Fuente: ALARCÓN, 2015

Variedades del Maíz Morado

Hay diversas variedades de maíz morado, todas ellas derivan de una raza ancestral denominada "Kculli" que hasta ahora se cultiva en los valles del Perú. La raza Kculli es muy arcaica, restos arqueológicos con mazorcas propias de esta raza se han encontrado en lea, Paracas, Nazca y otras partes de la costa central estimando una antigüedad de por lo menos en 2500 años. Asimismo, se hallan mazorcas modeladas, con las peculiaridades de la raza, en la cerámica Mochica.

La raza Kculli es una de las cinco ancestrales de las que se han originado todas las restante, que actualmente existen en el mundo. Existen muy escasas razas que exhiben pigmentos antociánicos en la

coronta y el grano. En América del sur, donde se hallan con mayor frecuencia, se encuentra el Kculli de Perú, que es muy parecida al boliviano, tanto en la morfología de la mazorca y planta, como en la intensidad de coloración; el negrito chileno, que posee más pequeña la mazorca y delgados granos, aunque tiene más filas de granos; el Kculli Argentino, que posee más grandes las mazorcas y tiene diferencias con las otras razas similares de América del sur al poseer granos más duros.

En el Perú tiene muchas variedades de maíz morado.

A continuación, se describen las más resaltantes:

- Cusco Morado

Especie vinculada a la raza cusco gigante, es tardía y de grandes granos, las mazorcas contienen 8 hileras muy bien definidas, se cultiva en zonas variadas de altitud intermedia en los departamentos de Apurímac y Cuzco.

- Morado Canteño

Especie derivada de la raza Cusco, con rasgos muy marcados de mazorcas de la raza Cusco Morado, aunque de menores dimensiones. Es más precoz, se cultiva en diversas partes de la Sierra del Perú, pero fundamentalmente en los valles altos de Chillón, en el departamento de Lima hasta los 2500 m.s.n.m. Es la especie más consumida en el mercado de Lima, la tusa exhibe una intensa coloración.

- **Morado de Caraz**

Especie derivada de las razas Alazan y Ancashinas, en el Callejón de Huaylas, en la localidad de Caraz, se cultiva en extensiones relativamente grandes. Es de precocidad intermedia y posee el beneficio que puede adecuarse igualmente a la costa. Entre las especies tradicionales es la que presenta mayor capacidad de rendimiento y la que exhibe la tusa con mayor coloración.

- **Morado Arequipeño**

Similar al Cusco Morado, pero más chico, la tusa no exhibe mucha coloración, como el de las otras especies, pero en la compilación realizada en Arequipa se halla mucha variabilidad para estas particularidades, por lo que es posible mejorarla. Es más precoz que las especies anteriormente mencionadas.

- **Negro Junín**

Especie precoz; de grano grande, negro, dispuesto aleatoriamente en una mazorca corta y ovalada; se le halla en la sierra centro y sur hasta la sierra de Arequipa, ocupando mayor altitud que las otras especies.

- **Variedad Mejorada**

PMV-581M es la única especie que está en producción actualmente, del Programa de Maíz, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Siendo una especie mejorada del morado canteño. Presenta plantas moradas que en promedio tienen 2,00 mts de altura y florea entre los 100 a 120 días. El cultivo se siembra entre los 800 a 2000 msnm. La planta es de precocidad intermedia, de 7 a 8 meses de período vegetativo con una o dos mazorcas establecidas en la longitud media del tallo. Se caracteriza por exhibir el pericarpio y la tusa totalmente morada. Su rendimiento está entre 3 y 5 TM/Ha.

Usos del Maíz Morado

El origen del maíz morado es muy antiguo y el uso de sus extractos es igualmente antiguo. Según datos de los historiadores se conoce que el maíz era usado en la alimentación, con él se prepara la "chicha" que viene a ser un licor fermentado.

El uso de su extracto sufrió un cambio con el tiempo, así se da en la colonia, por influencia de la repostería española y por la agudeza de las amas de casa criollas surgen la "mazamorra morada" y "chicha morada" de suculentos sabores.

En el presente el maíz morado es usado a nivel casero, como colorante natural y saborizante de bebidas y otros platillos alimenticios como la "mazamorra morada". A nivel industrial, con el fin de conseguir colorante se utiliza exclusivamente la coronta por el característico porcentaje del pigmento de antocianinas presentes; no obstante, siempre

se puede aprovechar el grano para la extracción de almidones y/o derivados o en la preparación de alimentos balanceados para ganado.

Producción Mundial y Nacional

Producción Nacional

El maíz morado se produce en las diferentes regiones del país, tal como se presenta en el siguiente cuadro.

TABLA N° 2.8
PRODUCCIÓN NACIONAL DEL MAÍZ MORADO EXPRESADO EN TONELADAS.

Años	2009	2010	2011	Var. %	Part. %
Cuzco	62,486	45,153	56,882	25.98	22.25
Apurímac	28,354	29,013	30,128	3.84	11.78
Cajamarca	35,054	33,787	29,564	-12.50	11.56
Huancavelica	23,372	18,893	19,743	4.50	7.72
La Libertad	20,482	20,305	17,789	-12.39	6.96
Junín	16,834	17,321	17,025	-1.71	6.66
Piura	17,502	13,201	16,373	24.03	5.92
Huánuco	18,137	16,483	15,128	-8.22	5.92
Ancash	11,123	11,997	12,458	4.02	4.87
Ayacucho	16,596	16,260	10,412	-35.97	4.07
Arequipa	9,885	11,243	9,719	-13.56	3.80
Puno	6,622	5,955	6,008	0.89	2.35
Amazonas	5,660	4,945	5,844	18.16	2.29
Lambayeque	6,819	6,125	3,268	-46.64	1.28
Tacna	1,897	2,126	1,803	-15.19	0.71
Lima	2,064	1,929	1,738	-9.90	0.68
Moquegua	844	912	890	-2.41	0.35
Pasco	1,619	1,633	594	-63.63	0.23
Ica	453	313	285	-8.95	0.11
TOTAL	285,803	257,575	255,651	-0.75	100

Fuente: Ministerio de Agricultura.

Principio Activo de coloración

El principio activo que caracteriza a la coloración del maíz morado se fundamenta en la presencia de la antocianina; la que está presente en menor proporción en el pericarpio (cáscara) del grano y en mayor proporción en la coronta tal como se muestra en el tabla N° 2.9

TABLA N° 2.9
CONTENIDO APROXIMADO DE ANTOCIANINA EN EL MAÍZ MORADO SECO

FRACCIÓN	% ANTOCIANINA
Coronta	1,0 – 1,2
Grano	0,15 – 0,20

Fuente: ALARCÓN, 2015

Resultados de ensayos cualitativos permiten aseverar que los grupos predominantes en el colorante del maíz morado son la peonidina, cianidina, pelargonidina.

Efectos Beneficiosos en nuestro organismo

- Beneficios en el Sistema Circulatorio:

Las antocianinas presentes en el Maíz Morado promueven la circulación sanguínea, estabilizando y protegiendo los vasos sanguíneos en general y los capilares en específico del daño oxidativo, optimizando así la micro circulación. Los resultados de varios estudios epidemiológicos

revelan que el consumo habitual de alimentos ricos en compuestos polifenólicos está ligado con una disminución en el riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares.

El Maíz Morado puede ser usado para controlar la presión sanguínea elevada.

- **Beneficios en la Actividad Anti-Inflamatoria:**

La antocianina principal que se encuentra presente en el Maíz Morado es la C3G, la cual ha demostrado poseer actividad anti-inflamatoria, que suministran de una base bioquímica para la utilización de C3G como un factor de alimento eficaz y también puede tener alcances trascendentales para la prevención de enfermedades inflamatorias inducidas por medio del óxido nítrico.

- **Beneficio en la Regeneración del Tejido**

Las antocianinas presentes en Maíz Morado pueden promover la regeneración del tejido conectivo y estimular la formación del colágeno.

Cuando se añade el Maíz Morado a la dieta, puede frenar las enzimas del organismo que ayudan a sintetizar ácidos grasos, lo cual es favorable para prevenir la obesidad y la diabetes.

Se sabe que los extractos obtenidos de Maíz Morado pueden disminuir la carcinogénesis en el colon. Asimismo, este pigmento tiene una capacidad antioxidante y posee una cinética anti radical mayor que

las moras y una cantidad mayor o similar en contenido fenólico y antocianínico.

2.3.5. Antocianinas

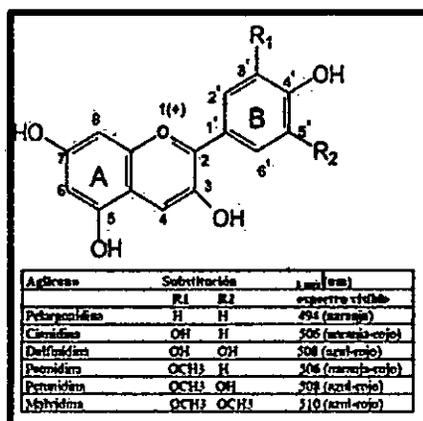
Las antocianinas, son pigmentos hidrosolubles, los cuales son responsables del interesante color de los frutos, frutas, flores y hojas pigmentadas de una planta; variando desde un color rosado, cruzando por rojo, y en varios casos de color azul y violeta.

El vocablo antocianina se deriva del griego "Anthas" que significa flor y "Cyanin" que significa azul; este nombre fue dado por Marquant (1835) para nombrar a los pigmentos azules de las flores. Luego se reveló que no solo el color azul, sino el violeta, púrpura y posiblemente todas las gamas de rojo, las cuales están presentes en muchas frutas y flores, es por estos pigmentos químicamente similares a las Antocianinas de Marquant.

Estructura de las Antocianinas

Las antocianinas son sales (flavylium) derivadas principalmente de las antocianidinas (agliconas y agluconas): Pelargonidina, Cianidina, Peonidina, Delfinidina, Petunidina y Malvidina. La Cianidina ocurre al nivel menos evolucionado. Las otras antocianidinas que ocurren en la naturaleza son derivados de una adición genéticamente controlada, remoción o metilación del grupo dióxido (Delgado Espinoza, 1989).

FIGURA N° 2.3
ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA ANTOCIANINA



Fuente: Durst & wrolstad, 2001

TABLA N° 2.10
ESTRUCTURAS Y MODELOS DE LA SUSTITUCIÓN DE ALGUNAS
ANTOCIANIDINAS QUE OCURREN NATURALMENTE.

ANTOCIANIDINA	MODELOS DE LA SUSTITUCIÓN (R)						COLOR
	3	5	6	7	3'	5'	
Pelargonidina (Pg)	OH	OH	H	OH	H	H	Anaranjado
Cianidina (Cy)	OH	OH	H	OH	OH	H	Anaranjado-Rojo
Delfeindina (Dp)	OH	OH	H	OH	OH	OH	Azul-Rojo
Peonidina (Pn)	OH	OH	H	OH	OMe	H	Anaranjado-Rojo
Petunidina (Pt)	OH	OH	H	OH	OMe	OH	Azul-Rojo
Malvidina (Mv)	OH	OH	H	OH	OMe	OMe	Azul-Rojo
Apigenidina (Ap)	H	H	H	OH	H	H	Anaranjado
Luteonidina (Lt)	H	H	H	OH	OH	H	Anaranjado
Tricetidina (tr)	OH	OH	H	OH	OH	OH	Rojo
Aurantidina (Au)	OH	OH	OH	OH	H	H	Anaranjado
6-Hydroxy-Cy(60HCy)	OH	OH	OH	OH	OH	H	rojo
6-Hydroxy-Dp(60HDp)	OH	OH	OH	OH	OH	OH	Azul-Rojo
Rosinidina (Rs)	OH	OH	OMe	OMe	OMe	H	Rojo
Hirsutidina (Hs)	OH	OH	OMe	OMe	OMe	OMe	Azul-Rojo
5-Methyl-Cy(5Mcy)	OH	OMe	OH	OH	OH	H	Anaranjado-Rojo
Pulchellidina (Pl)	OH	OMe	OH	OH	OH	OH	Azul-Rojo
Europinidina (Eu)	OH	OMe	OH	OH	OMe	OH	Azul-Rojo

Fuente: Hendry Houghton, Natural Foods Colorants.

La glicosidación de estos pigmentos en posiciones 3, 5 ó 7 ó una combinación de estos, resulta en la formación de antocianinas. El azúcar en la molécula otorga estabilidad y solubilidad a las antocianinas. Las antocianinas siempre ocurren en la naturaleza en formas glicosídicas. Sin embargo, la ocurrencia de aglucógenos ha sido reportada de tiempo en tiempo. Es inusual en la naturaleza que estos compuestos se presenten considerando su insolubilidad e inestabilidad en el agua. Una propiedad característica de estos componentes es su naturaleza anfotérica, debido a esto, dependiendo de la naturaleza del medio las antocianinas se comportan ya sea como ácido o base. Los azúcares unidos al aglucon mediante enlaces glicosídicos son: pentosas, hexosas, biosas y triosas, basado en la posición de aleación y en la naturaleza de los azúcares sustituyentes.

Color

De los extractos acuosos se obtienen compuestos principalmente de pelargonidina y cianidina, son rojo naranja; aquellos con peonidina son rojo frambuesa, mientras que las demás antocianinas son rojo azulino. La gran diversidad de matices, colores y tintes que ocurren en la naturaleza y el sutil matizado en el florecimiento o en la mejilla de una fruta, son el resultado de cierto número de factores:

El pH afecta la coloración, reportándose lo siguiente:

- A pH inferior a 3:

Estos pigmentos son de una coloración roja, el matiz puede variar, pero ellos son tonos rojizos. Así la pelargonidina (ocurre en la planta como pelargonina o algunos derivados) es rojo naranja en solución ácido, mientras que la delfinidina es rojo azulino.

-A pH superior a 4,5:

Las antocianinas van desde un de color violeta hasta alcanzar un color azul; a altos valores de pH, hay un viraje a verde y luego amarillo (esto no esta presente en plantas).

La concentración de los pigmentos altera los matices

Cuando una solución ácida de delfinidina sintética es volcado sobre papel de filtro, una solución diluida proporciona un color azul, mientras que una solución intermedia proporciona un color púrpura.

-La concentración de los pigmentos altera los matices.

Robinson (1939), mencionado por Hoagland (1976), reportó que cuando una solución ácida de delfinidina sintética es vertido sobre papel de filtro, una solución diluida da un color azul, mientras que una solución intermedia da un color púrpura.

-En la savia celular:

Las antocianinas son frecuentemente absorbidas sobre partículas coloidales, probablemente los polisacáridos o el pH es estabilizar y el color es influenciado por esta asociación.

Factores que influncian la estabilidad

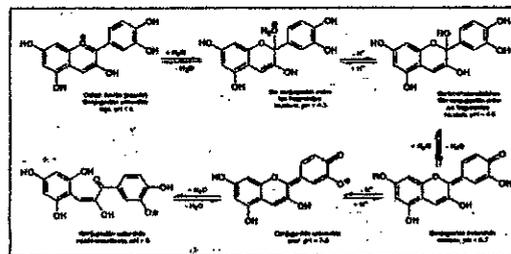
El núcleo flavilium de las antocianinas es altamente reactivo, Dado que la estructura química de la antocianina es deficiente en electrones, por consiguiente, estos compuestos varian rápidamente hasta estructuras no deseadas y varian de color bajo la variedad de condiciones empleadas en el procesamiento y almacenamiento de productos alimenticios. La destrucción de pigmentos antociánicos es acelerado por la presencia de oxígeno, incremento de temperatura, presencia de ácido ascórbico, un pH alto, enzimas, azúcares, entre otros.

A continuación, se expone los principales factores que influyen sobre las antocianinas:

a) pH: El color mostrado por las antocianinas es gran medida influenciado por el pH del medio. Un pH bajo sería esperado para estabilizar el color de las antocianinas. En rango de pH ácido existen enteramente los pigmentos antocianicos en la forma roja de sal flavilium. A pH 7,0-8,0 el pigmento presenta un color profundamente púrpura o se desenvuelve un color amarillo debido a la formación de chalconas.

b) Temperatura: Independientemente de los mecanismos operativos de degradación específica en antocianinas en productos de frutas, es esperado que sus efectos totales pueden ser dependientemente de la temperatura. También se espera que el resultado de la temperatura podría ser regido por la variación estructural de antocianinas y la cantidad de pigmentos inicialmente presentes. La temperatura de degradación de las antocianinas está por encima de 90 -100 °C.

FIGURA N° 2.4
TRANSFORMACIONES ESTRUCTURALES DE LAS
ANTOCIANINAS FRENTE A VARIACIONES EN EL PH (BASADO
EN CIANIDINA 3,5 DIGLICÓSIDO).



Fuente: ALARCÓN, 2015

c) Oxígeno y peróxido de Hidrógeno: Simultáneamente con la temperatura, el oxígeno es el agente acelerante más concreto en la degradación de pigmentos antociánicos en diferentes vegetales y frutas. Individualmente con la acción del peróxido de hidrógeno, se ha sugerido la posibilidad de que la degradación inducida por el ácido ascórbico de antocianinas en fresas procesadas sea debida al peróxido de hidrógeno producido durante la oxidación de este ácido.

d) Luz: Las antocianinas cuando son expuestas a rayos UV o VIS o radiación ionizante, son generalmente inestables.

e) Metales: Las antocianinas son estables en condiciones fuertemente ácidas. A causa de la inestabilidad de sus bases anhidro, estos compuestos benefician la decoloración en el rango de pH 4 a 6. Las antocianinas se estabilizan mediante la formación de complejo metálico, por ejemplo: el añadir cloruro de aluminio ha sido reconocida como estabilizador de las antocianinas.

f) Azúcares: La función de los azúcares con respecto a la estabilidad de las antocianinas es muy compleja se ha llegado a observar que la fructuosa, lactosa, arabinosa son más desestabilizantes que la maltosa, glucosa o sacarosa.

g) Enzimas: En frutas recientemente cosechadas, la disminución de antocianina ha sido atribuida a la actividad del sistema enzimático glicosidasa y polifenol oxidasa, las cuales hidrolizan el protector 3-glicósido de las antocianinas para producir azúcares libres y agliconas inestables.

Antocianinas en la naturaleza

El pigmento de antocianinas se puede presenciar en varias vegetales y frutas en diversas concentraciones; a continuación, se presentan algunas materias primas que contienen antocianinas.

TABLA N° 2.11
CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN ALGUNAS MATERIAS PRIMAS.

PRODUCTO	ANTOCIANINA (%)	FUENTE
Anil trepador (cissus sicyoides linn)	0,120	Toledo et Al (1983)
Uvas trosseau	0,085	Carreño y Luh (1969)
Cereza roja	0,040	Dekasos (1968)
Arandano fresco	0,100	Fuleki y francis (1968)
Orujo de vino francés	0,157	Yokohama et-al (1981)

Fuente: Delgado Espinoza. Tesis-UNALM (1989).

Propiedades y Beneficios

a) Propiedades

Fortalecen el sistema inmunológico del cuerpo, desintoxican el cuerpo de los agentes de la contaminación ambiental, desactivan sustancias cancerígenas, y resguardan al cuerpo de desarrollar enfermedades crónicas degenerativas como tensión alta, cataratas, diabetes, envejecimiento, artritis, arterosclerosis y enfermedades cardio vasculares.

Mejora la visión nocturna e incrementa la agudeza visual. Ayuda asimismo en el tratamiento de la retinopatía y del glaucoma.

b) Beneficios

Las antocianinas poseen efectos terapéuticos conocidos que van desde efectos antitumorales, la reducción de las enfermedades coronarias, antidiabéticos y antiinflamatorios, abarcando el mejoramiento del comportamiento cognitivo y de la agudeza visual. Los efectos terapéuticos de las antocianinas están ligados con sus propiedades antioxidante. Estudios con fracciones de antocianinas derivados del vino han manifestado que estas son efectivas en atrapar especies reactivas del oxígeno, además de inhibir la agregación de plaquetas y la oxidación de las lipoproteínas.

Controla la obesidad, un diverso grupo de compuestos fenólicos provenientes de los llamados frutos rojos, tales como flavonoles, elagitaninos y antocianidinas, inhiben las enzimas digestivas α -glucosidasa, proteasa, lipasa y α -amilasa, las cuales son claves terapéuticas para controlar la diabetes mellitus tipo 2 y la obesidad. Las antocianinas al restringir la actividad de la α -glucosidasa, determinan una disminución de los niveles de glucosa en sangre. También, junto con los elagitaninos, actúan sinérgicamente para inhibir la actividad de la enzima α -amilasa. Las pro-antocianidinas ayudan especialmente en la inhibición

de la lipasa gastrointestinal y restringen la digestión de las grasas después de las comidas. Las antocianinas de la uva, inhibirían el progreso de la obesidad ya que, al menos in vitro, producen una disminución de la acumulación de lípidos en los adipocitos maduros.

Restaura funciones neurológicas, una ración de 2% de bayas de *Vaccinium* (arándanos) proveída a ratas de la cepa F344 durante 8 semanas fue efectiva para reparar las deficiencias relacionadas con la edad en el señalamiento neuronal y parámetros de comportamiento. Se ha dado a conocer que varias antocianinas como el el 3-arabinosa cianidina, 3-galactósido de cianidina, el 3-galactósido de delphinidina, el 3-glucósido de cianidina y 3-el galactósido de malvidina, entre otros, pueden hallarse en varias regiones del cerebro de las ratas tratadas de este modo. En otro estudio, las bayas de *Vaccinium* liofilizadas, manifestaron que mejoran la memoria a corto plazo de las ratas en una dosis de 3,2 mg/día por 30 días.

Mejora el sistema inmunológico, la ingestión de frutos rojos mejora el sistema inmune. Los extractos ricos en antocianinas, como los de frutas de boysenberry (*Rubus ursinus x idaeus*) o de arándanos, cuando son suministrados como suplemento de la dieta a gente sana, incrementan la propagación de linfocitos, como así también la secreción de citocininas (interleucina 2) debido a los linfocitos activados.

Mercado Nacional de Antocianinas

Es sustancial exhibir una revisión panorámica del estado de comercialización del maíz morado y las antocianinas en nuestro país hacia los mercados internacionales, que nos ayudan a percibir el grado de la gestión y la ingeniería del recurso natural.

TABLA N° 2.12

EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE ANTOCIANINA Y DE MAÍZ MORADO EN VALOR FOB

Año	2008	2009	2010	2011	2012	Var. %
Materias colorantes de origen vegetal o de Maíz Morado (Antocianina)	8,760	22,210	39,335	115,411	118,549	2,72
Maíz Morado (Zea mays amilácea cv morado)	528,799	691,025	590,601	624,096	789,428	26,49

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

El nivel de exportaciones de la antocianina, muestra un desarrollo continuo en el periodo del año 2008 hasta el 2012; lo que significa que tuvo una subida de 1,253% durante este espacio, por lo que se deduce que goza de gran potencial y es muy solicitada en los mercados, por gozar de beneficios para la salud y de utilidad industrial.

Las cifras del maíz morado muestran la actividad comercial de las exportaciones de este producto, despuntando los US\$ 500 mil anuales y ascendiendo durante los últimos años; en el periodo en estudio se muestra solo un declive en el año 2010, recuperándose al siguiente año.

TABLA N° 2.13

EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE ANTOCIANINA Y DEL MAÍZ MORADO EN KG

Año	2008	2009	2010	2011	2012	Var. %
Materias colorantes de origen vegetal o de Maíz Morado (Antocianina)	70	175	875	1,268	982	-22,58
Maíz Morado (Zea mays amilácea cv morado)	398,470	402,155	369,496	351,801	411,137	16.87

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

TABLA N° 2.14

EMPRESAS EXPORTADORAS DE ANTOCIANINA EN VALOR FOB

EXPORTACIONES DE ANTOCIANINA EXPRESOS EN VALOR FOB							
EMPRESAS	2008	2009	2010	2011	2012	%Part.	Variac. %
Globenatural Internacional S.A.	8,750.00	22,210.00	37,575.00	98,197.00	110,363.00	93.09	12.39
Peruvian Heritage S.A.C.	-	-	-	-	4,989.00	4.21	100
Solinatura E.I.R.L.	-	-	-	-	3,195.00	2.70	100
Ecoandino S.A.C.	-	-	81000	14,050.00	-	0	-100
Agroind. Serv. y Neg. Intern. S.A.C.	-	-	-	2,200.00	-	0	-100
Reategui Otero Jaime Jose	-	-	415.00	412.00	-	0	-100
Los cuyes S.A.C.	-	-	333.00	-	-	0	-100
Aleoli S.A.C.	-	-	-	462.00	-	0	-100
Ministerio de Relaciones Exteriores	-	-	-	72.00	-	0	-100
Chb Hasen S.A.	-	-	-	18.00	-	0	-100
TOTAL	8,760.00	22,210.00	115,411.00	115,411.00	118,549.00	100	2.72

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

TABLA N° 2.15

**MERCADOS PARA LA EXPORTACIÓN DE ANTOCIANINA,
DURANTE EL PERIODO 2008 -2012, EXPRESADOS EN VALOR
FOB**

MERCADOS	2008	2009	2010	2011	2012	%Part.	Var. %
Estados Unidos	8,760.00	22,206.00	37,575.00	89,012.00	109,202.00	92.12	22.69
Alemania					4,989.00	4.21	100
Republica Checa					3,195.00	2.70	100
México		4.00			587.00	0.50	100
Brasil					575.00	0.49	100
Argentina				4,197.00		0	0
Australia				3,650.00		0	0
Chile			535.00			0	0
Colombia			415.00	874.00		0	0
Francia				18.00		0	0
Holanda				10,400.00		0	0
Reino Unido				7,260.00		0	0
Total general	8,760.00	22,210.00	38,525.00	115,411.00	118,548.00	100	2.72

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

Podemos apreciar que las exportaciones de maíz morado han ido aumentando periódicamente, manifestando como el principal país de destino a Estados Unidos, que tiene una contribución de 69,23%, cuya variación respecto al año 2011 es 13,28%, posteriormente observamos a Ecuador, que participa en el total de las exportaciones con 12,33%, cuya variación es de 389,42%, porcentaje que refleja la alta demanda del producto gracias a su calidad y beneficios a la salud.

No obstante, Japón, Chile y Costa Rica, reflejan una contracción en la demanda, al apreciar variaciones negativas para el año 2012 en relación al año anterior.

TABLA N° 2.16

**MERCADOS PARA LA EXPORTACIÓN DE MAÍZ MORADO,
DURANTE EL PERIODO 2008 -2010, EXPRESADOS EN KG**

MERCADOR	2008	2009	2010	2011	2012	ICP%	VAR. %
Estados Unidos	386,576.75	499,796.98	363,994.74	482,462.03	346,524.52	69.23	13.28
Ecuador	16,874.00	39,580.00	53,671.44	19,883.04	97,312.210	12.33	389.42
España	38,092.95	36,733.23	79,684.38	48,457.47	82,778.31	10.49	70.83
Italia	17,469.49	17,027.02	32,103.21	11,494.69	15,684.24	1.99	36.45
Japón	45,898.49	81,431.32	11,676.48	34,952.81	11,493.50	1.46	-67.12
Países Bajos	1,138.65	3,404.72	7,095.10	1,193.00	7,773.00	0.98	551.55
Venezuela	3,740.88	3,900.00	25,000.00	3.00	6,817.00	0.86	22713.3
							3
Chile	2,166.57	3,437.69	3,420.76	6,596.90	5,318.00	0.67	-19.39
Alemania	644.53	302.40	375.47	375.47	4,950.00	0.63	1218.35
Costa Rica	3,223.57	1,084.21	4,980.09	4,980.09	3,544.95	0.45	-28.82
Colombia					3,297.41	0.42	100.00
Los Demás	12,973.77	4,327.38	13,697.45	13,697	3,937.57	0.50	-71.28
Total	528,799.40	691,024.95	624,095.95	624,095.95	789,427.60	100.0	26.49
							0

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

Se puede apreciar en el ranking mundial que Perú lidera las estadísticas de exportación registrando una participación de 12,12% para el año 2011, seguido por Países Bajos y Alemania. Se podría aseverar que Perú es el único proveedor de antocianina de maíz morado por lo que se debe tomar en cuenta que hay una gran viabilidad comercial para este producto.

TABLA N° 2.17

**EXPORTADORES DEL SISTEMA ARMONIZADO: 320300
MATERIAS COLORANTES DE ORIGEN VEGETAL O ANIMAL, EN
MILES DE US\$**

PAÍS	2008	2009	2010	2011	PART. %	VAR. %
Perú	30,368.00	32,654.00	91,025.00	126,020.00	12.12	38.45
Países Bajos	62,198.00	74,996.00	95,024.00	112,563.00	10.82	18.46
Alemania	67,194.00	65,149.00	93,286.00	109,419.00	10.52	17.29
España	67,766.00	73,780.00	77,519.00	104,047.00	10.01	34.22
Dinamarca	47,456.00	49,367.00	77,158.00	99,593.00	9.58	29.08
Los demás	318,731.00	325,381.00	373,543.00	488,216.00	46.95	30.70
MUNDO	593,713.00	621,327.00	807,555.00	1,039,858.00	100.00	28.77

Fuente: SUNAT, Asociación Regional de Exportadores-AREX.

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

2.3.5.1. Extracción de Antocianinas

Existen varias técnicas de extracción para las antocianinas a partir de diversas materias primas, que generalmente utilizan soluciones acuosas sinergetizadas con algún tipo de modificadores de pH y alcoholes, bajo varias condiciones térmicas de extracción, procedimiento o granulometría de la materia prima seca y estado hidrodinámico del sistema de extracción o lixiviación.

- El método de extracción habitual, de antocianinas, es por maceración de la muestra con una solución de HCl al 1% en metanol (en etanol para caso de ser utilizado en alimentos), dejándolo en refrigeración toda la noche (tener cuidado de dejar el depósito tapado en la refrigeradora, esencialmente cuando se trata de una solución metanólica). La solución de antocianina conseguida se concentra al vacío a una temperatura inferior de 30 °C y posteriormente se cromatografía sobre papel Whatman N° 3.

Puede utilizarse una serie de sistemas: BAW (n-butanol: ácido acético glacial: agua, 4:1:5, fase superior); Bu: HCl (n-butanol: HCl 2N, 1:1, fase superior); fórmico (ácido fórmico: HCl conc: agua, 5:5:3), forestal (HOAc glacial): HCl conc: agua 30:3:1 0), entre otros. Si la muestra presenta apreciables cantidades de azúcares puede emplearse 1% HCl en agua, lo que provoca mejores resultados. (Cuadros A., 2001).

Además de la metodología usual de extracción descrita, es conveniente considerar lo siguiente:

- La extracción puede darse también en frío con solventes no acidificados, como etilenglicol, n-butanol, metanol 60%, propilenglicol, mezcla de acetona/metanol/agua, acetona, o simplemente con agua a ebullición; en todos estos casos antes mencionados se espera que las antocianinas sean extraídas en el estado más natural posible, ya que un medio ácido, como HCl, podría descomponer su estado original, además que puede ocasionar pérdida de azúcares y de grupos ácido lábiles.
- Como medio ácido se puede utilizarse además de ácido clorhídrico (HCl), ácidos orgánicos débiles como el ácido tartárico y fórmico.
- La utilización de etanol conteniendo 200 a 2000 ppm de SO₂ aumenta el rendimiento de extracción, resultando un extracto que

tiene hasta dos veces el poder tintóreo en paralelo al uso de etanol solamente.

Métodos de extracción

Como las antocianinas están presentes en diversas frutas y plantas, así mismo el contenido de la misma varía mucho dependiendo de factores tales como: variedad, especie, estado fisiológico de la planta y el fruto, condiciones de crecimiento, tamaño y posición del fruto en la planta, aplicación de agroquímicos, entre otros, también existen muchos procesos de extracción y obtención de antocianina para cada planta o fruto en específico.

Entre los varios métodos propuestos para la obtención de antocianina como pigmento potencial para los alimentos se pueden referir algunas técnicas:

- i. V. V. ARDREEV & E. M. SHPRIZMAN (1969); Según el método se usa como solvente una solución de dióxido de azufre (SO_2) en agua acidificada que extrae, de las cáscaras de uvas, el pigmento. El dióxido de azufre (SO_2) luego se separa por calentamiento. Seguidamente el extracto es filtrado y purificado para ser concentrado y secado.
- ii. CHIRIBOGA & FRANCIS (1970); Para los autores la adición del ácido clorhídrico (HCl) tiene un efecto importante que mejora la extracción de las antocianinas del arandino. La extracción se

ejecuta con metanol. Aseveran que este solvente sin ácido extrae sólo 5% de pigmento en 2 hora, con aumentos de 0,03% de HCl la extracción aumenta al 19% en 2 hora y 49% en 3 horas. Posteriormente el extracto es purificado y concentrado al vacío, por el cual se retira todo el metanol, luego este es secado.

- iii. ESSELEN (1975); Representó un sistema de extracción simple con agua caliente para extraer el colorante antociánico de los cálices del Rosselle (*Hisbiscus Sabdariffa*). El extracto en solución acuosa está acidificado con ácido cítrico. El pigmento es relativamente fácil de extraer y es "limpia" la preparación y contiene pequeñas sumas de otros compuestos polifenólicos.
- iv. MARKAKIS (1976); Representa un solvente clásico para la extracción de antocininas es algún alcohol de bajo punto de ebullición (metanol o etanol) teniendo pequeñas sumas de ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico conserva el pH y convierte en sales cloradas a las antocianinas que son muy solubles.
- v. PERASKA (1979); Maneja para la extracción, de las antocianinas de las uvas, una solución acidificada con ácido clorhídrico (HCl) en medio acuoso, adicionándole además enzimas (proteasa y amilasa), para aumentar la pureza del colorante. La mezcla fue filtrada y concentrada para después ser secada por el método de atomización.
- vi. KIKUCHI et. al. (1976);

Método 1

Se muele 1 kg de maíz morado tamizándolo por una malla 30 ASTM, se remoja en 1 L de agua mezclándose bien, se calienta la mezcla hasta una temperatura de 100 °C, después se le enfría a 80 °C; se le añade 1 g de amilasa en forma líquida (Potencia 10 000 unidades/gramo) y se le deja reposar por 30 minutos a una temperatura de 80 °C y luego se le enfría hasta 50 °C, se le añade 20 g de endopeptitasa y se deja reposar a 50 °C por 3 horas y posteriormente se filtra, para concentrar y secar por atomización (spray dryer), obteniéndose de ésta manera polvo de antocianina.

Método 2

Se muele 1 kg de maíz morado tamizándolo por una malla 30 ASTM, se deja remojando en 20 L de agua, mezclándose bien, se calienta, la mezcla, hasta una temperatura de 100 °C, después se deja reposar a 80 °C, se añade 100 g de amilasa en forma líquida (potencia 10 000 unidades/gramo) se deja reposar por 30 minutos a una temperatura de 80 °C, luego se enfría a 40 °C, se añade 50 g de 3-amilasa (potencia 4000 unidades/gramo), se añade 200 g de endopeptitasa de origen microbiológico, procesándose luego que se mezcle durante 2 horas y se filtra para luego tratarse por inmersión, utilizando una presión de 3 kg/cm² usando un equipo de ultra filtración por membrana después el líquido transparente se

pone en un secado por atomización, obteniéndose de esta manera polvo de antocianina.

- vii. YASUDA et. al. (1975); Se usa 1 kg de maíz morado a 70 -80 °C con 4 L de agua que contiene 8 g de ácido sulfúrico (H₂SO₄). El extracto posteriormente se filtra. El filtrado (2,2L) se neutraliza con carbonato de calcio y después se concentra. El extracto concentrado es filtrado y este se seca, obteniéndose 50 g de polvo de antocianina.
- viii. ARIAS (1958); Se realiza una extracción solido-liquido para conseguir el extracto de maíz (chicha morada). Usó el método percolante con cinco extracciones o contactos y tiempos de contacto de 15 min. Mencionó que al extraer a 100 °C se nota unq permuta en la coloración del extracto, mientras que al realizarlo a 90 °C no ocurre alteración alguna. Recomienda en conclusión la temperatura de 90 °C por no hallar una diferencia muy amplia en la cantidad de "extraíbles" alcanzados. El extracto posteriormente se concentró evaporando el agua para finalmente ser secado por atomización.

Variables y rango de operación para la extracción

En correlación a la extracción, el método usual de extracción es la extracción sólido-líquido. El carácter polar de la molécula de antocianina

permite que sean solubles en diferentes solventes, tales como agua, acetona y alcoholes. La estabilidad se ve afectada rápidamente por modificaciones estructurales con grupos metoxilo, grupos acilos, glucósidos e hidroxilo, igualmente por factores como la temperatura y la luz.

El método de extracción usado debe ser el más óptimo para cada aplicación en concreto. Las condiciones de extracción, tales como relación sólido-líquido, tiempo, tipo de disolvente, temperatura y concentración de disolvente influyen en la estabilidad de las antocianinas, así como también en la concentración de antocianinas extraídas.

Así; se debe maximizar la recuperación de pigmentos, minimizar los compuestos adjuntos extraídos y limitar la degradación o variación del estado natural del extracto. La comprensión de los factores implicados en su estabilidad y de los mecanismos de la degradación es sumamente vital para una eficiente extracción, purificación y su uso como colorantes de alimentos.

En este sentido, se estudiaron las principales condiciones de extracción de antocianinas a partir de corontas de maíz morado. Se ensayaron extracciones con soluciones etanólicas al 20 % y pH 2 acondicionadas según un diseño factorial con los factores tiempo y temperatura de extracción. Los resultados conseguidos indicaron que las mejores condiciones de extracción pertenecieron a una temperatura de 75

°C y un tiempo de extracción de entre 120 y 240 minutos, mientras que las condiciones más desfavorables fueron 25 °C y 30 minutos. Así mismo se ha estudiado la influencia de otras variables de proceso como el pH y el tipo de solvente de extracción.

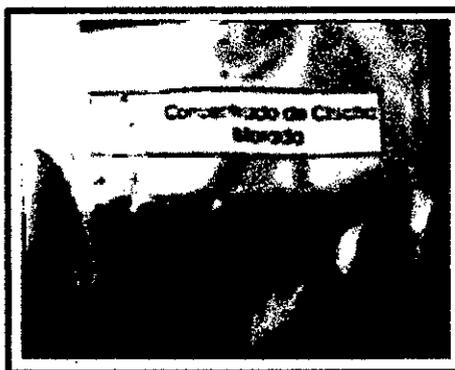
Así, se concluye que la extracción se ve favorecida por el uso de un medio etanólico al 20% como agente de extracción y un pH entre 2 y 4.

Aplicación de las antocianinas en la industria

Principalmente usadas en la industria farmacéutica, alimenticia, cosmética y textil.

Especialmente usadas en la industria alimentaria, impartiendo color a bebidas, helados, dulces, caramelos y confites de la panadería, vegetales, conservas, mermeladas, saborizantes, frutas confitadas, frutas en almíbar, jarabe de frutas, sopas y jaleas.

FIGURA N° 2.5
CONCENTRADO DE MAÍZ MORADO



Fuente: ORGANISMO PUBLICO SIERRA EXPORTADORA. Perfil comercial antocianina de maíz morado

2.3.6. Definición de términos

- **Antocianina:** Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos. Desde el punto de vista químico, las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico. Sus funciones en las plantas son múltiples, desde la de protección de la radiación ultravioleta hasta la de atracción de insectos polinizadores.
- **Cinética:** La cinética química es un área de la fisicoquímica que se encarga del estudio de la rapidez de reacción, cómo cambia la rapidez de reacción bajo condiciones variables y qué eventos moleculares se efectúan mediante la reacción general (Difusión, ciencia de superficies, catálisis). La cinética química es un estudio puramente empírico y experimental; el área química que permite indagar en las mecánicas de reacción se conoce como dinámica química.
- **Colorantes:** Un colorante es una sustancia que es capaz de teñir las fibras vegetales y animales. Los colorantes se han usado desde los tiempos más remotos, empleándose para ello diversas materias

procedentes de vegetales (cúrcuma, índigo natural, etc.) y de animales (cochinilla, moluscos, etc.) así como distintos minerales.

- **Colorantes alimentarios:** Los colorantes alimentarios son un tipo de aditivos alimentarios que proporcionan color a los alimentos (en su mayoría bebidas), si están presentes en los alimentos se consideran naturales y si por el contrario se añaden a los alimentos durante su preprocesado mediante la intervención humana se denominan artificiales. Suelen causar su efecto colorante en los alimentos ya en pequeñas cantidades (apenas concentraciones de centenas de ppm). En la actualidad la industria alimentaria emplea los colorantes alimentarios con el objeto de modificar las preferencias del consumidor. El color es uno de los principales atributos para la preferencia de un alimento.
- **Coronta:** Mazorca del maíz después de desgranada.
- **Disolución acuosa o Medio acuso:** Es siempre cuando el disolvente (o el disolvente mayoritario, en el caso de una mezcla de disolventes) es agua. El agua como disolvente es muy polar y forma puentes de hidrógeno muy fuertes. Las disoluciones acuosas tienen una gran importancia en la biología, desde los laboratorios de ciencia básica hasta la química de la vida, pasando por la química industrial. Por la basta cantidad y variedad de sustancias que son solubles en agua, esta se denomina a veces disolvente universal.

- **Extracción:** Es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface. La relación de las concentraciones de dicha sustancia en cada uno de los disolventes, a una temperatura determinada, es constante.
- **Extracción solido-liquido:** Operación unitaria cuya finalidad es la separación de uno o más componentes contenidos en una fase sólida, mediante la utilización de una fase líquida o disolvente. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida recibe el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte.
- **Flavonoides:** es el término genérico con que se identifica a una serie de metabolitos secundarios de las plantas. Son sintetizados a partir de una molécula de fenilalanina y 3 de malonil-CoA, a través de lo que se conoce como "vía biosintética de los flavonoides", cuyo producto, la estructura base, se cicla gracias a una enzima isomerasa. La estructura base, un esqueleto C6-C3-C6, puede sufrir posteriormente muchas modificaciones y adiciones de grupos funcionales, por lo que los flavonoides son una familia muy diversa de compuestos, aunque todos los productos finales se caracterizan por ser polifenólicos y solubles en agua. Los flavonoides que conservan su esqueleto pueden clasificarse, según las

isomerizaciones y los grupos funcionales que les son adicionados, en 6 clases principales: las chalconas, las flavonas, los flavonoles, los flavandioles, las antocianinas, y los taninos condensados.² más una séptima clase, las auronas, tenidas en cuenta por algunos autores por estar presentes en una cantidad considerable de plantas. También el esqueleto puede sufrir modificaciones, convirtiéndose entonces en el esqueleto de los isoflavonoides o el de los neoflavonoides, que por lo tanto también son derivados de los flavonoides.

- **Maíz morado:** Es un conjunto de variedades de *Zea mays* que poseen un fruto (infrutescencia) de color morado. Crecen en México y los Andes de Perú, Bolivia, Ecuador y Argentina, dispersos y cultivados también en las costas del territorio peruano, desde mucho antes de los incas.
- **MINAGRI:** Ministerio de Agricultura y Riego.
- **Patrón:** Una solución estándar o disolución estándar es una disolución que contiene una concentración conocida de un elemento o sustancia específica, llamada patrón primario que, por su especial estabilidad, se emplea para valorar la concentración de otras soluciones, como las disoluciones valorantes.
- **Partícula:** Se llama partícula a cualquier parte o cuerpo muy pequeño de algo. Entre los ejemplos de partículas que podemos dar se encuentran los granos y minerales.

- **Pigmento:** es un material que cambia el color de la luz que refleja como resultado de la absorción selectiva del color; son utilizados para teñir pintura, tinta, plástico, textiles, cosméticos, alimentos y otros productos. La mayoría de los pigmentos utilizados en la manufactura y en las artes visuales son colorantes secos, usualmente en forma de polvo fino. Este polvo es añadido a un vehículo o matriz, un material relativamente neutro o incoloro que actúa como adhesivo. Para aplicaciones industriales, así como artísticas, la permanencia y la estabilidad son propiedades deseadas. Los pigmentos que no son permanentes son llamados fugitivos. Los pigmentos fugitivos se desvanecen con el tiempo, o con la exposición a la luz, mientras que otros terminan por ennegrecer.
- **Proceso:** Es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que al interactuar juntas en los elementos de entrada los convierten en resultados
- **Secado en campo:** Poco después de su maduración fisiológica, los granos presentan, en general, un elevado contenido de humedad, lo que dificulta la cosecha y no permite el almacenamiento. Por tanto, el producto tiene que permanecer en el campo hasta que su contenido de humedad permita cosecharlo o llegue al grado ideal para almacenarlo.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación $X = f(Y, Z, W)$

X = La cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado.

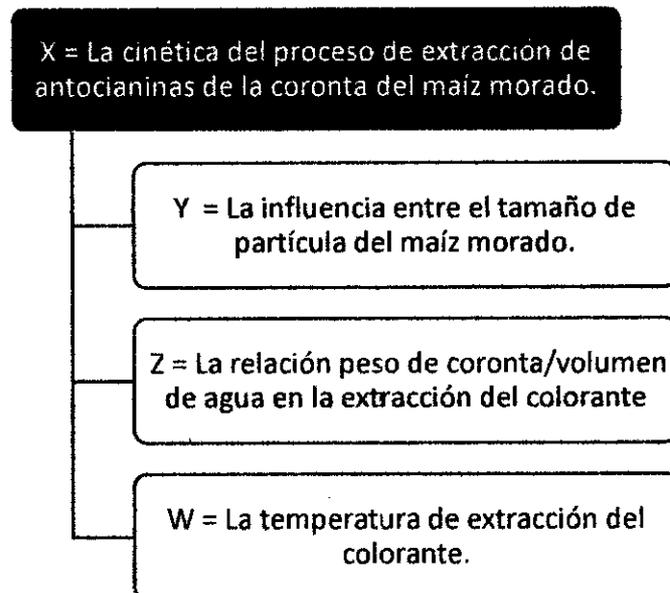
Y = La influencia entre el tamaño de partícula del maíz morado.

Z = La relación peso de coronta/volumen de agua en la extracción del colorante

W = La temperatura de extracción del colorante.

FIGURA N°3.1

RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

3.2. Operacionalización de variables

TABLA N°3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X = La cinética del proceso de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado.	-El orden de la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado y su constante de velocidad.	<ul style="list-style-type: none"> • N=numero • $K=(mg/L)^{n-1}$ 	Ensayos en el Laboratorio.
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Influencia del tamaño de partícula de la coronta del maíz morado en su cinética en el proceso de extracción.	- Tamaño de partícula de la coronta del maíz morado.	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor transversal De coronta. 	Ensayos en el Laboratorio.
Z= Influencia de la relación peso de coronta/ volumen de agua en la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado.	- Relación peso de coronta/ volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • $PC/V= mg/L$ 	Ensayos en el Laboratorio.
W= Influencia de la Temperatura en la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado	- Temperatura de extracción.	<ul style="list-style-type: none"> • $T= ^\circ C$ 	Ensayos en el Laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas

3.3.1. Hipótesis General

La cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado es de orden fraccional con una constante de velocidad relativamente alta.

3.3.2. Hipótesis Específicas

- a) Existe una influencia entre el tamaño de partícula de la coronta del maíz morado en la cual se logra mayor tasa de extracción de antocianina a mayor área de contacto con el agua.
- b) La relación peso de coronta/volumen de agua influye en la cinética ya que se obtendrá mayor tasa de extracción de antocianina en mayor cantidad de agua.
- c) La temperatura influye en la cinética ya que a altas temperaturas la velocidad de extracción de la antocianina será mayor.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

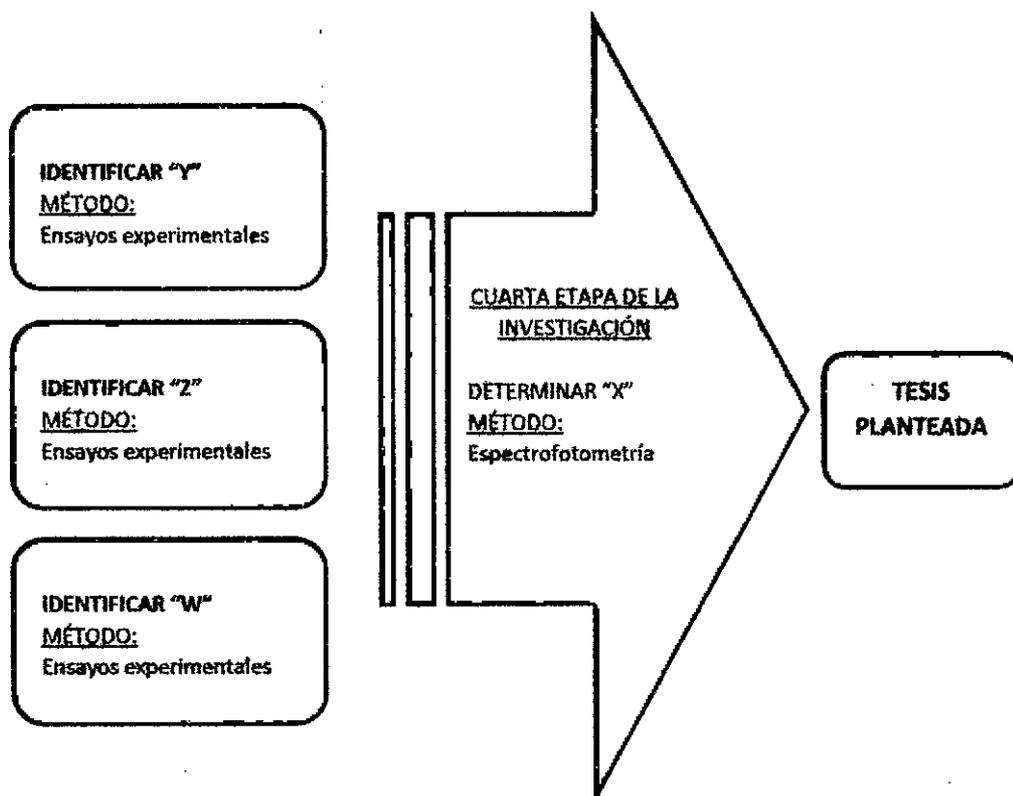
La investigación realizada es cuantitativa básica. Los tipos de investigación que se realizaron en el presente trabajo de tesis son:

- a) **Por su finalidad** fue de tipo aplicativo, puesto que los resultados obtenidos servirán para aplicarlos a la realidad y así darse solución a un problema.
- b) **Por su diseño interpretativo** fue de tipo experimental, puesto que el estudio se realizó mediante la observación, registro y análisis de las variables intervinientes.
- c) **Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados** fue de tipo cuantitativo, puesto que el estudio de los datos fue de carácter cuantitativo.
- d) **Por el nivel de estudios** fue de tipo aplicada, ya que se buscó establecer propuestas para aplicarlas a la práctica.
- e) **Por el ámbito de desarrollo** fue de tipo de laboratorio, ya que el estudio se realizó a nivel de laboratorio.

4.2. Diseño de investigación

Para el diseño de la investigación se determinó primero las variables independientes Y, Z, W mediante sus respectivos métodos; después se identificó la variable dependiente x. Tal como se muestra en la figura 4.1.

**FIGURA N° 4.1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**



Fuente: Elaboración propia

4.3. Población y muestra

La población estuvo representada por toda la masa de antocianina extraída a partir de las corontas de maíz morado. La muestra fue de la misma dimensión que la población antes mencionada que se calculó para los fines matemáticos de cinética de extracción.

4.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de datos

4.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos para la recolección de datos se clasificaron en equipos, materiales, reactivos e infraestructura.

Equipos

- Espectrofotómetro Thermoelectron
- Balanza con 0.1 g de sensibilidad
- Parrilla calefactora con agitación magnética
- Reactor de laboratorio (vidrio pirex con dispensador)

Materiales

- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL
- Vasos de precipitado de 50, 250 y 1000 mL
- Frascos de polietileno para la toma de muestras
- Barra magnética de agitación
- Termómetro de Hg
- Luna de reloj

- Espátula
- Cuchillo
- Piscetas
- Bagueta

Materias primas y reactivos

- Maíz morado seco
- Agua destilada
- Antocianina de maíz morado (Purple corn anthocyanin)

Infraestructura

- Laboratorio de Química de la Universidad Nacional del Callao

4.4.2. Técnicas

A) Descripción de la obtención de la antocianina de la coronta del maíz morado (Zea Mays L.).

La antocianina utilizada en el estudio provino del maíz morado, y fue extraído adaptando el método de extracción en medio acuoso descrito en el apartado "Métodos para la obtención de la antocianina" ya que este es muy general para este tipo de materia prima. Se procedió de la siguiente manera:

- **Selección de materia prima:** Se adquirió la materia prima de un cultivo de la ciudad de Pacarán – Cañete ciudad que es un alto productor de maíz morado desde épocas ancestrales. Se compró

unos 5 kg de maíz morado fresco lo que se dejó a secar naturalmente.

FIGURA N°4.2
MUESTRA DE MAÍZ MORADO



Fuente: Elaboración propia

- **Caracterización taxonómica de materia prima:** Una muestra de maíz morado se envió a analizar al Museo de Historia Natural de la Universidad Mayor de San Marcos.

TABLA N° 4.1
POSICIÓN TAXONÓMICA

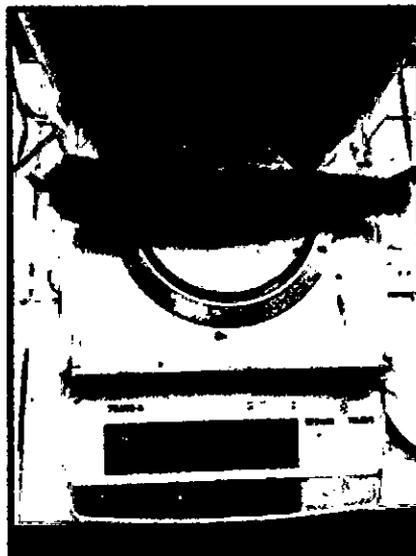
DIVISIÓN:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE:	MAGNOLIOPSIDA
SUB CLASE:	COMMELINIDAE
ORDEN:	CYPERALES
FAMILIA:	POACEAE
GENERO:	Zea
ESPECIE:	Zea mays L.

Fuente: Elaboración propia

- **Desgranado, corte de coronta:** Se desgranó los maíces morados, quedando la coronta a utilizar para el proceso de extracción luego se rebanó esta en rodajas de 1, 2 y 3 cm de espesor aproximados.

FIGURA N°4.3

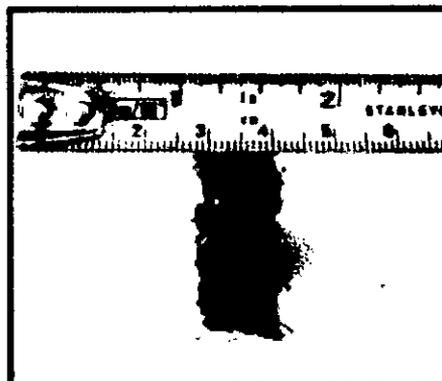
DESGRANADO Y PESADO DE LA MATERIA PRIMA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.4

REBANADO DE LA MATERIA PRIMA



Fuente: Elaboración propia

- **Pesado:** Se pesó la materia prima en pesos aproximados de 5g,15g y 20 g para cada tipo de espesor y para cada temperatura (40 °C, 50 °C Y 70 °C) haciendo así 27 corridas las que realizaremos.

FIGURA N° 4.5

PESADO DE LA MATERIA PRIMA



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.2

TABLA DE MUESTRAS A REALIZAR

Temperatura (° C)	Peso de coronta	Espesor de coronta
50	5 g,15g, 20 g	1 cm
	5 g,15g, 20 g	2cm
	5 g,15g, 20 g	3 cm
60	5 g,15g, 20 g	1 cm
	5 g,15g, 20 g	2cm
	5 g,15g, 20 g	3 cm
70	5 g,15g, 20 g	1 cm
	5 g,15g, 20 g	2cm
	5 g,15g, 20 g	3 cm

Fuente: Elaboración propia

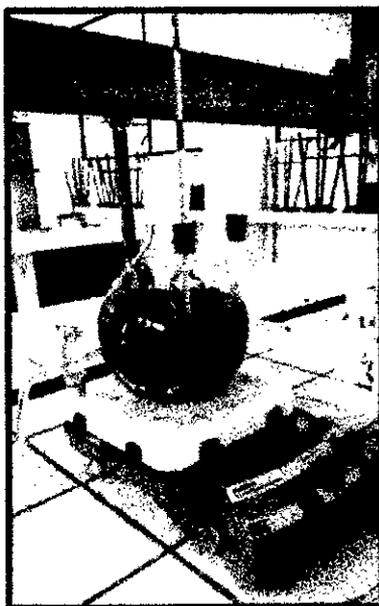
- **Extracción a distintas temperaturas:** En el reactor a nivel laboratorio se colocó 1 litro y medio de agua destilada medidas con una probeta de 1 Lt adicionando la pastilla electromagnética, la cual se llevó a a una temperatura de 50 °C o 60°C o 70 °C, la cual se mantendrá constante durante todo el proceso.

Al momento que llego a la temperatura adecuada para el proceso se le adicionó un peso aproximado de (5 g o 15g o 20 g) de coronta de maíz rebanados con (1 cm o 2 cm o 3 cm) de espesor.

Al momento de adicionar la muestra de maíz morado se contará tiempo = 0, y se tomará medición para extraer muestras cada 5 min hasta los 40 min en los envases pequeños de PVC con tapa y rotularlos los cuales se refrigeraron evitando la exposición de luz.

FIGURA N°4.6

EXTRACCIÓN A DISTINTAS TEMPERATURAS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.8

MUESTRAS DE ANTOCIANINA A DISTINTOS TIEMPOS DE EXTRACCIÓN LLEVADOS A TUBOS DE ENSAYO PARA SU DETERMINACIÓN EN ESPECTROFOTÓMETRO



Fuente: Elaboración propia

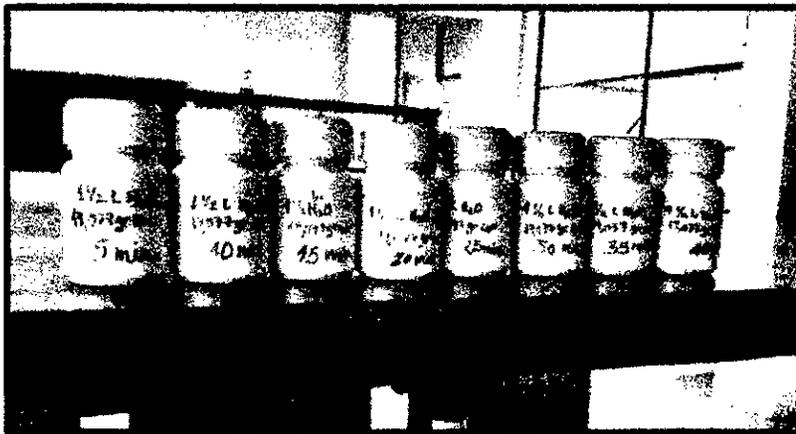
4.5. Procedimientos de recolección de datos

En los procedimientos de recolección de datos definimos las variables, los niveles y sus combinaciones para interpretarlas.

A) Procedimientos de recolección de datos en la obtención de las antocianinas de la coronta del maíz morado (*Zea Mays L.*).

En la obtención de la antocianina del maíz morado se identificaron 3 variables, consideradas aquellas cuyas condiciones puedan influir en la obtención de la antocianina. Cada una de estas variables se dio 2 niveles a analizar; así como se ve en la tabla N° 4.3:

FIGURA N°4.7
MUESTRAS DE ANTOCIANINA A DISTINTOS TIEMPOS DE
EXTRACCIÓN



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Técnicas de análisis

A) Prueba cuantitativa de antocianina de la coronta del maíz morado

Estos análisis se realizaron para identificar la antocianina del maíz morado obtenido.

- Prueba cuantitativa de antocianina de la coronta del maíz morado mediante espectrofotometría:

Se procede de la siguiente manera:

- Se preparó una solución patrón e antocianina en un volumen de 100 ml de agua destilada.

- Después se realizaron diluciones para poder construir la curva de calibración con concentraciones de 0,000004, 0,000006, 0,000012 g/ml de antocianina.
- Con estas diluciones se determinó en el espectrofotómetro (modelo THERMO ELECTRON) sus absorbancias a 537 nm.
- Con estos datos de absorbancia y concentración se llevó a cabo una regresión, para determinar una relación de estas variables.
- Seguidamente se llevó a tubos de ensayo las muestras obtenidas en los ensayos que son 8 por cada corrida.
- Con estas diluciones se determinó en el espectrofotómetro (modelo THERMO ELECTRON) sus absorbancias a 537 nm.
- Con estos datos de absorbancia y concentración que se halló del patrón se llevó a cabo una regresión, para determinar una relación de estas variables.
- Finalmente, con estos datos y la relación de concentraciones y absorbancias se determinó los órdenes de extracción de antocianina de la coronta del maíz morado.

TABLA N° 4.3
DEFINICIÓN DE VARIABLES Y SUS NIVELES

N°	VARIABLE	NOTACIÓN	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
1	Tamaño de partícula de la coronta del maíz morado	t	t_1	t_2	t_3
2	Relación peso de coronta/ volumen de agua.	τ	τ_1	τ_2	τ_3
3	Temperatura en la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado	T	T_1	T_2	T_3

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la combinación de las variables y sus niveles se obtuvo un arreglo ortogonal de 27 experimentos, cada una de estas se desarrolló por duplicado; como se aprecia en la tabla N° 4.4

TABLA N° 4.4
ARREGLO ORTOGONAL DE EXPERIMENTOS

Orden de corrida	VARIABLES		
	t (espesor)	τ (peso)	T (twmpe)
1	t_1	τ_1	T_1
2	t_1	τ_2	T_1
3	t_1	τ_3	T_1
4	t_2	τ_1	T_1
5	t_2	τ_2	T_2
6	t_2	τ_3	T_1
7	t_3	τ_1	T_1
8	t_3	τ_2	T_1
9	t_3	τ_3	T_1
10	t_1	τ_1	T_2
11	t_1	τ_2	T_2
12	t_1	τ_3	T_2
13	t_2	τ_1	T_2
14	t_2	τ_2	T_2
15	t_2	τ_3	T_2
16	t_3	τ_1	T_2
17	t_3	τ_2	T_2
18	t_3	τ_3	T_2
19	t_1	τ_1	T_3
20	t_1	τ_2	T_3
21	t_1	τ_3	T_3
22	t_2	τ_1	T_3
23	t_2	τ_2	T_3
24	t_2	τ_3	T_3
25	t_3	τ_1	T_3
26	t_3	τ_2	T_3
27	t_3	τ_3	T_3

Fuente: Elaboración propia

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1. Procesamiento estadístico

Puesto que la investigación contiene variables cuantitativas, se procesó los datos experimentales obtenidos a través de una matriz de datos, en tablas y gráficos usando softwares como Excel y Polymath 6.1.

4.6.2. Análisis de datos

Para encontrar resultados y cumplir con los objetivos de esta investigación se planteó el uso de la Estadística descriptiva e Inferencial. De acuerdo al tipo de variables se consideró el tipo de análisis a seguir; conociendo las características de cada variable, como se presenta en la tabla N°4.5.

**TABLA N° 4.5
TIPO DE VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

N°	VARIABLES	NOTACIÓN	TIPO DE VARIABLE
1	Tamaño de partícula de la coronta del maíz morado	Y	Cuantitativo
2	Relación peso de coronta/ volumen de agua.	Z	Cuantitativo
3	Temperatura en la cinética del proceso de extracción de antocianinas del maíz morado	W	Cuantitativo

Fuente: Elaboración propia

A. Estrategia de análisis estadístico

- Exploración de las variables y creación de variables transformadas o derivadas.
- Análisis simple de relación.
- Descripción de variables.

B. Descripción de estrategia de análisis

Para las variables cuantitativas se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y se calculó un intervalo de confianza para las variables de interés asumiendo la normalidad y utilizando el método exacto para proporciones pequeñas.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados de los parámetros de operación en cada etapa del proceso de obtención de antocianina de maíz morado (*zea mays*).

A. Prueba cuantitativa de la antocianina del maíz morado mediante espectrofotometría UV- visible usando patrón de antocianina químicamente pura.

Del procedimiento descrito, en la preparación de las distintas concentraciones de antocianina puro (patrón) se obtiene los datos de la tabla N°5.1:

TABLA N° 5.1
CURVA DE CALIBRACIÓN DE LA ANTOCIANINA PATRÓN

N°	VOLUMEN AFORO (ml)	CONCENTRACIÓN TEÓRICA (g/ml)	CONCENTRACIÓN REAL (g/ml)
1	25	0.000004	0.0000040035
2	25	0.000006	0.0000066725
3	25	0.000012	0.0000133451

Fuente: Elaboración propia.

Luego con las concentraciones se procede a determinar las absorbancias de cada una, y se obtuvo los datos de la tabla N°5.2

TABLA N°5.2

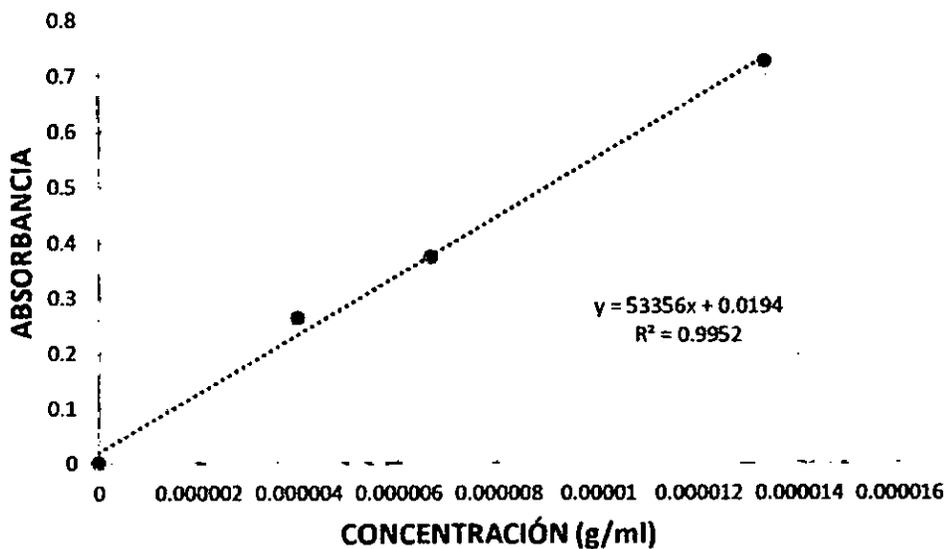
LECTURAS DE ABSORBANCIA Y CONCENTRACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE ANTOCIANINAS PURA

N° PATRÓN	CONCENTRACIÓN (g/ml)	ABS. PROMEDIO
0	0	0
1	0.0000040035	0.2622
2	0.0000066725	0.3735
3	0.0000133451	0.7237

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA N°5.1

CURVA DE CALIBRACIÓN DE LA ANTOCIANINA PURA



Fuente: Elaboración propia.

Del ajuste de regresión no lineal para los datos de concentración de antocianina químicamente pura, se obtiene la ecuación de la curva de calibración para la muestra de antocianina del maíz morado.

$$Y = 53356X + 0.0194$$

Donde:

Y = es la absorbancia de la muestra de antocianina leída.

X = es la concentración de la muestra de antocianina leída en g/ml.

B. Resultados de la extracción de antocianina del maíz morado a diferentes temperaturas.

Los parámetros se midieron por duplicado para todos los ensayos considerando las temperaturas de extracción (T), diámetro de coronta (Φ) y masa en relación al volumen de agua (M), los resultados de los análisis de las absorbancias hechos a la coronta de maíz morado se muestran en 3 tablas N° 5.3, 5.4 y 5.5.

**TABLA N°5.3
RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA EN PROCESO DE
OBTENCIÓN DE ANTOCIANINA A 50°C**

Esesor (cm)-tamaño de partícula	Masa (g)	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración de antocianina (Ca)
1	20.209	5	0.3253	0.000005733
		10	0.3351	0.000005917
		15	0.4051	0.000007229
		20	0.4716	0.000008475
		25	0.5574	0.000010083
		30	0.5943	0.000010775
		35	0.6849	0.000012473
		40	0.7131	0.000013001
2	21.018	5	0.3499	0.000006194
		10	0.5459	0.000009868
		15	0.6211	0.000011277
		20	0.7006	0.000012767
		25	0.7731	0.000014126
		30	0.8371	0.000015325
		35	0.9315	0.000017095
		40	0.9391	0.000017237
3	21.35	5	0.4049	0.000007225
		10	0.5614	0.000010158
		15	0.6964	0.000012688
		20	0.8005	0.000014639
		25	0.8956	0.000016422
		30	1.2391	0.000022860
		35	1.1664	0.000021497
		40	1.3875	0.000025641

		5	0.2930	0.000005128
		10	0.3816	0.000006788
		15	0.4961	0.000008934
1	15.58	20	0.5662	0.000010248
		25	0.5974	0.000010833
		30	0.6639	0.000012079
		35	0.6982	0.000012722
		40	0.8482	0.000015533
		5	0.6058	0.000010990
		10	0.4392	0.000007868
		15	0.4224	0.000007553
2	16.64	20	0.4250	0.000007602
		25	0.5675	0.000010273
		30	0.5289	0.000009549
		35	0.5755	0.000010422
		40	0.5963	0.000010812
		5	0.2133	0.000003634
		10	0.3090	0.000005428
		15	0.8109	0.000014834
3	17.9	20	1.0397	0.000019122
		25	0.4971	0.000008953
		30	1.4608	0.000027015
		35	0.6427	0.000011682
		40	0.6377	0.000011588
		5	0.2407	0.000004148
		10	0.2923	0.000005115
		15	0.3775	0.000006712
1	5.47	20	0.4428	0.000007935
		25	0.4717	0.000008477
		30	0.5315	0.000009598
		35	0.6524	0.000011864
		40	0.6078	0.000011028
		5	0.2039	0.000003458
		10	0.2526	0.000004371
		15	0.3058	0.000005368
2	4.119	20	0.3277	0.000005778
		25	0.3587	0.000006359
		30	0.3837	0.000006828
		35	0.4228	0.000007561
		40	0.4949	0.000008912
		5	0.1789	0.000002989
		10	0.2052	0.000003482
		15	0.2240	0.000003835
3	6.9	20	0.2329	0.000004001
		25	0.2485	0.000004294
		30	0.2642	0.000004588
		35	0.2844	0.000004967
		40	0.2933	0.000005133

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°5.4
RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA EN PROCESO DE
OBTENCIÓN DE ANTOCIANINA A 60°C

Esesor (cm)-tamaño de partícula	masa (g)	tiempo (min)	absorbancia	Concentración de antocianina (Ca)
1	20.615	5	0.2874	0.00005023
		10	0.5267	0.00009508
		15	0.6715	0.00012222
		20	0.8110	0.00014836
		25	0.9579	0.00017589
		30	1.0000	0.00018378
		35	1.1270	0.00020759
		40	1.2195	0.00022492
2	21.04	5	0.4424	0.00007928
		10	0.6578	0.00011965
		15	0.8138	0.00014889
		20	0.9759	0.00017927
		25	1.1000	0.00020253
		30	1.2297	0.00022683
3	20.58	35	1.2365	0.00022811
		40	1.3738	0.00025384
		5	0.2756	0.00004802
		10	0.4446	0.00007969
		15	0.5675	0.00010273
		20	0.6334	0.00011508
		25	0.7912	0.00014465
		30	1.0953	0.00020165
1	15.73	35	1.0095	0.00018556
		40	1.0672	0.00019638
		5	0.3169	0.00005576
		10	0.5424	0.00009802
		15	0.6334	0.00011508
		20	0.6685	0.00012165
		25	0.7466	0.00013629
		30	0.7579	0.00013841
2	15.297	35	0.8004	0.00014638
		40	1.0567	0.00019441
		5	0.3267	0.00005759
		10	0.4190	0.00007489
		15	0.4931	0.00008878
		20	0.5265	0.00009504
		25	0.5435	0.00009823
		30	0.6194	0.00011245
3	15.41	35	0.5830	0.00010563
		40	0.6313	0.00011468
		5	0.2661	0.00004624
		10	0.6223	0.00011300
		15	0.4780	0.00008595
		20	0.6109	0.00011086
		25	0.6646	0.00012092
		30	0.7900	0.00014443
		35	0.8482	0.00015533
		40	0.9077	0.00016649

1	5.07	5	0.2262	0.000003876
		10	0.3059	0.000005370
		15	0.3917	0.000006978
		20	0.6406	0.000011643
		25	0.4442	0.000007962
		30	0.5133	0.000009257
		35	0.4665	0.000008380
2	5.52	40	0.5500	0.000009945
		5	0.2018	0.000003419
		10	0.2336	0.000004015
		15	0.2955	0.000005175
		20	0.3296	0.000005814
		25	0.3525	0.000006243
		30	0.3679	0.000006592
3	5.09	35	0.3968	0.000007073
		40	0.3937	0.000007015
		5	0.2016	0.000003415
		10	0.2630	0.000004566
		15	0.2846	0.000004970
		20	0.3328	0.000005874
		25	0.3602	0.000006387
		30	0.3755	0.000006674
		35	0.3959	0.000007056
		40	0.4366	0.000007819

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°5.5
RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA EN PROCESO DE
OBTENCIÓN DE ANTOCIANINA A 70°C

Espesor (cm)-tamaño de partícula	Masa (g)	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración de antocianinas
1	19.077	5	0.4103	0.000007326
		10	0.5790	0.000010488
		15	0.7723	0.000014111
		20	0.8820	0.000016167
		25	1.0086	0.000018540
		30	1.0983	0.000020221
		35	1.2529	0.000023118
2	20.249	40	1.4103	0.000026068
		5	0.3599	0.000006382
		10	0.4663	0.000008376
		15	0.5301	0.000009572
		20	0.5891	0.000010677
		25	0.5765	0.000010441
		30	0.5996	0.000010874
3	22.62	35	0.6556	0.000011924
		40	0.6388	0.000011609
		5	0.4367	0.000007821
		10	0.6306	0.000011455
		15	0.7343	0.000013399
		20	0.8182	0.000014971
		25	0.9160	0.000016804
		30	0.9895	0.000018182
		35	1.0147	0.000018654
		40	1.0732	0.000019750

1	15.287	5	0.1543	0.000002528
		10	0.2909	0.000005088
		15	0.4327	0.000007746
		20	0.5696	0.000010312
		25	0.6765	0.000012315
		30	0.7115	0.000012971
2	14.896	35	0.8405	0.000015389
		40	0.8596	0.000015747
		5	0.2302	0.000003951
		10	0.3357	0.000005928
		15	0.3790	0.000006740
		20	0.4449	0.000007975
3	16.072	25	0.4734	0.000008509
		30	0.4595	0.000008248
		35	0.5112	0.000009217
		40	0.5028	0.000009060
		5	0.3921	0.000006985
		10	0.6091	0.000011052
1	5.292	15	0.7589	0.000013860
		20	0.8891	0.000016300
		25	0.9456	0.000017359
		30	1.0210	0.000018772
		35	1.1059	0.000020363
		40	1.1848	0.000021842
2	5.031	5	0.1762	0.000002939
		10	0.2419	0.000004170
		15	0.2870	0.000005015
		20	0.3295	0.000005812
		25	0.3613	0.000006408
		30	0.4019	0.000007169
3	5.32	35	0.4239	0.000007581
		40	0.4315	0.000007724
		5	0.1493	0.000002435
		10	0.2045	0.000003469
		15	0.2434	0.000004198
		20	0.2657	0.000004616
1	5.292	25	0.2888	0.000005049
		30	0.2899	0.000005070
		35	0.3019	0.000005295
		40	0.3173	0.000005583
		5	0.1074	0.000001649
		10	0.1319	0.000002108
2	5.031	15	0.1479	0.000002408
		20	0.1757	0.000002929
		25	0.1864	0.000003130
		30	0.1925	0.000003244
		35	0.1949	0.000003289
		40	0.2148	0.000003662

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Resultado y modelamiento cinético de los parámetros obtenidos del proceso de extracción de maíz morado.

Para la extracción de antocianina del maíz morado por el método de extracción sólido-líquido, considerándose las condiciones ya expuestas, se obtiene el siguiente modelo cinético de extracción.

$$\frac{dC_a}{dt} = kC_a^n + b$$

Donde:

$\frac{dC_a}{dt}$ = derivada de la concentración de antocianina en función del tiempo.

C_a = concentración de antocianina.

n = orden del modelo de extracción.

K y b = son constantes cinéticas.

El cual se simplifica en:

$$Y = kX^n + b$$

Donde:

$Y = \frac{dC_a}{dt}$ = derivada de la concentración de antocianina en función del tiempo.

$X = C_a$ = concentración de antocianina.

Para ser introducida en el programa estadístico (Polymath 6.1) y realizar mediante este la regresión no lineal de los datos.

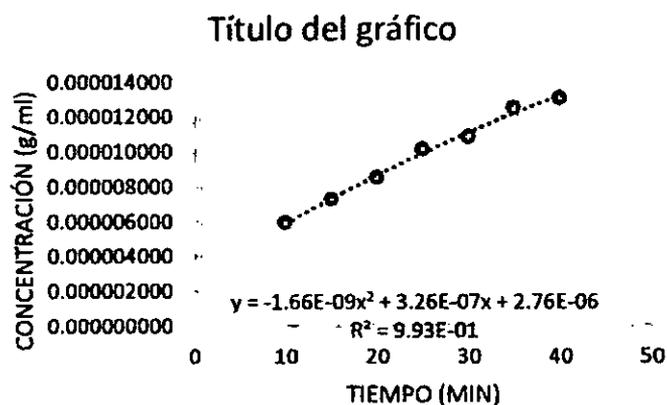
Se selecciona de la tabla N° 5.3 los datos para el espesor de 1cm, graficando y hallando una ecuación de segundo grado.

TABLA N° 5.6
TIEMPO Y CONCENTRACIÓN A 50°C, 1CM DE ESPESOR Y PESO DE 20.209G

tiempo (mín)	concentración de antocianina (Ca)
5	0.000005733
10	0.000005917
15	0.000007229
20	0.000008475
25	0.000010083
30	0.000010775
35	0.000012473
40	0.000013001

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA N° 5.2
TIEMPO VS CONCENTRACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Del ajuste de regresión no lineal para los datos de concentración de antocianina, se obtiene la ecuación de la curva de calibración para la muestra de antocianina del maíz morado.

$$C_a = -1.66 \times 10^{-9} t^2 + 3.26 \times 10^{-9} t + 2.76 \times 10^{-9}$$

Donde:

C_a = es la concentración de la antocianina en g/ml.

t = es el tiempo de extracción de la muestra de antocianina en min.

Con la ecuación anterior se obtiene ajusta la concentración y a su vez se halla la derivada de concentración en función del tiempo ($\frac{dC_a}{dt}$).

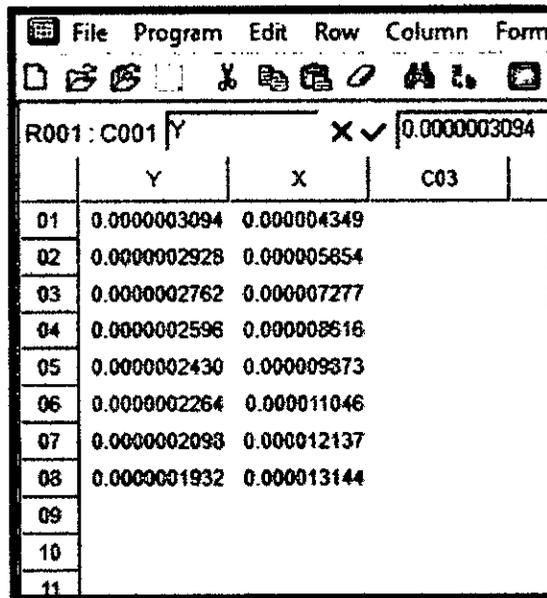
TABLA N° 5.7
CONCENTRACIÓN AJUSTADA Y DERIVADA DE LA
CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINA EN FUNCIÓN AL TIEMPO A
50°C, 1CM DE ESPESOR Y PESO DE 20.209G

C_a (ajustado)	dC_a/dt
0.000004349	0.0000003094
0.000005854	0.0000002928
0.000007277	0.0000002762
0.000008616	0.0000002596
0.000009873	0.0000002430
0.000011046	0.0000002264
0.000012137	0.0000002098
0.000013144	0.0000001932

Fuente: Elaboración propia.

Se ingresan los valores de la tabla N°5.7 al Polymath:

FIGURA N° 5.1
VALORES DE LA TABLA N° 5.7 AL POLYMATH



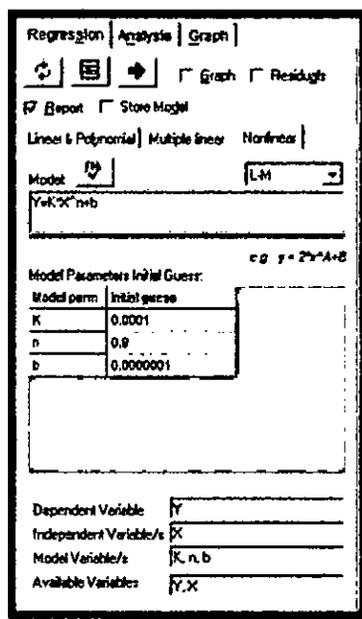
The screenshot shows the Polymath software interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Program', 'Edit', 'Row', 'Column', and 'Form'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main window displays a table with the following data:

	Y	X	C03
01	0.0000003094	0.000004349	
02	0.0000002928	0.000005854	
03	0.0000002762	0.000007277	
04	0.0000002596	0.000008616	
05	0.0000002430	0.000009973	
06	0.0000002264	0.000011046	
07	0.0000002098	0.000012137	
08	0.0000001932	0.000013144	
09			
10			
11			

Fuente: Elaboración propia.

Se define una regresión no lineal, ingresando el modelo cinético de extracción simplificado y los parámetros iniciales.

FIGURA N° 5.2
MODELO CINÉTICO DE EXTRACCIÓN SIMPLIFICADO Y LOS
PARÁMETROS INICIALES



Fuente: Elaboración propia.

Dando como resultado las constantes cinéticas, el orden del modelo de extracción, la precisión y la comparación entre las gráficas experimental y calculada.

FIGURA N° 5.3

RESULTADO DEL POLYMATH: CONSTANTES CINÉTICAS Y EL ORDEN DEL MODELO DE EXTRACCIÓN

POLYMATH Report
 Nonlinear Regression (L-M)

Model: $Y = K^*X^n + b$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
K	0.0001	-0.1689956	0.1459237
n	0.9	1.237014	0.0793636
b	1.0E-07	3.502E-07	6.792E-09

Nonlinear regression settings
 Max # Iterations = 64

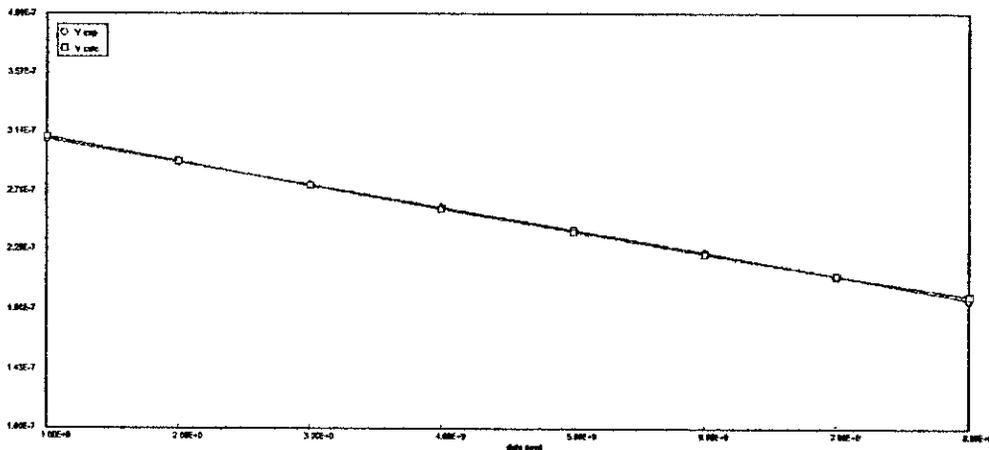
Precision

R ²	0.9989693
R ^{2adj}	0.998557
Rmsd	4.317E-10
Variance	2.366E-18

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA N° 5.3

COMPARACIÓN ENTRE LAS GRÁFICAS EXPERIMENTAL Y CALCULADA



Fuente: Elaboración propia Polymath.

Este mismo procedimiento se realiza en cada variación de temperatura, espesor y masa del maíz morado; estos resultados se muestran en la tabla N° 5.8

TABLA N° 5.8
VALORES DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS, DEL ORDEN DEL MODELO DE EXTRACCIÓN Y LA PRECISIÓN RESPECTO A LOS PARAMETROS INICIALES TOMADOS DE LA CORONTA DEL MAIZ MORADO

PARAMETROS INICIALES				RESULTADOS		
Temperatura (°C)	espesor (cm)- tamaño de partícula	masa (g)	k	n	b	R2
50	1	20.209	-0.1689956	1.2370140	0.0000003502	0.9989693
	2	21.018	-0.0022474	1.3149060	0.0000006698	0.9788669
	3	21.35	0.0004306	0.6874915	0.0000002813	0.9999821
	1	15.58	-0.0108670	1.0329380	0.0000003443	0.9988445
	2	16.64	-1.0098900	1.3053230	0.0000004390	0.9823876
	3	17.9	-0.9808191	1.3333920	0.0000004033	0.9932278
	1	5.47	-0.0641636	1.0990980	0.0000003593	0.9905288
	2	4.119	0.0003020	0.7599053	0.0000001077	0.9992090
	3	6.9	-0.1249372	0.5734927	0.0000131100	0.9932877
60	1	20.615	-0.0209368	0.9550808	0.0000010040	0.9775837
	2	21.04	-1.0075710	1.3394950	0.0000009577	0.9864775
	3	20.58	-0.1234012	1.212031	0.0000005731	0.9989911
	1	15.73	-1.0098260	1.2624990	0.0000008948	0.9582215
	2	15.297	-1.0096320	1.2798800	0.0000005349	0.9445720
	3	15.41	-0.3898014	1.2910690	0.0000005135	0.9995985
	1	5.07	-0.0511031	1.0376000	0.0000004285	0.9854835
	2	5.52	-0.0169292	0.9079496	0.0000003976	0.9365898
	3	5.09	-0.0037854	0.8329224	0.0000002825	0.9811378

70	1	19.077	-0.0131200	1.0433360	0.0000006510	0.9986598
	2	20.249	-0.7767453	1.2570400	0.0000005951	0.9771940
	3	22.62	-0.1115331	1.102008	0.0000008817	0.9737013
	1	15.287	-0.9510743	1.3135210	0.0000006627	0.9892220
	2	14.896	-0.0118567	0.8497035	0.0000006829	0.9173610
	3	16.072	-0.4054318	1.2373560	0.0000008783	0.9844702
	1	5.292	-0.0138190	0.9104165	0.0000003751	0.9590040
	2	5.031	-0.1325836	1.0761810	0.0000003235	0.9407512
	3	5.32	-1.0098760	1.2390570	0.0000001841	0.9440892

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Resultados del análisis estadístico

El diseño experimental del presente trabajo corresponde a un diseño factorial 3^3 . Para encontrar las condiciones óptimas de la extracción de antocianina, en primer lugar se realizó el cálculo de la relación (P/P) antocianina / maíz morado mediante el siguiente procedimiento:

Para cada corrida experimental:

- i. Se calculó gráficamente la concentración de antocianina para un tiempo indefinido $+\infty$, es decir $C_{m\acute{a}x}$.

$$t \rightarrow \infty, C \rightarrow C_{m\acute{a}x}$$

- ii. La cantidad en g de antocianina se calcula multiplicando $C_{m\acute{a}x}$ por el volumen de extracción $V_{extracci\acute{o}n} = 1500$ mL.

$$m_{m\acute{a}x} = C_{m\acute{a}x} \times 1500$$

- iii. Finalmente, la relación P/P de antocianina y maíz morado:

$$\%P/P = \frac{M_{máx}}{m_{matz}} \times 100$$

Los datos ordenados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 5.9

VALORES DE CMÁX Y %P/P DE ANTOCIANINA

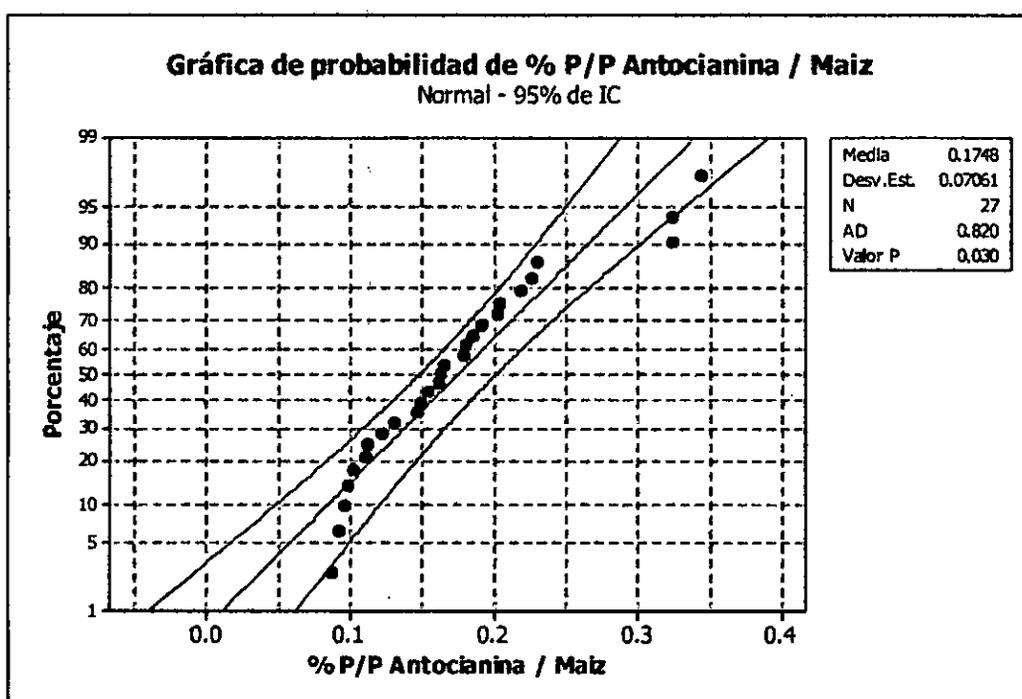
Orden Corrida	Temperatura	Relación Peso	Espesor	Cmáx Antocianina	% P/P Antocianina / Maíz
1	50	20	1	0.000013001	0.096501678
2	50	20	2	0.000017237	0.123016338
3	50	20	3	0.000025641	0.180147383
4	50	15	1	0.000015533	0.149551332
5	50	15	2	0.000010990	0.099071476
6	50	15	3	0.000027015	0.226380743
7	50	5	1	0.000011864	0.325330199
8	50	5	2	0.000008912	0.324538874
9	50	5	3	0.000005133	0.111596593
10	60	20	1	0.000022492	0.163659829
11	60	20	2	0.000025384	0.180971091
12	60	20	3	0.000020165	0.146971976
13	60	15	1	0.000019441	0.185388867
14	60	15	2	0.000011468	0.112455883
15	60	15	3	0.000016649	0.162055964
16	60	5	1	0.000011643	0.344454199
17	60	5	2	0.000007073	0.192207714
18	60	5	3	0.000007819	0.230427609
19	70	20	1	0.000026068	0.204971662
20	70	20	2	0.000011924	0.088327935
21	70	20	3	0.000019750	0.130970531
22	70	15	1	0.000015747	0.154514203
23	70	15	2	0.000009217	0.092816857
24	70	15	3	0.000021842	0.203851112
25	70	5	1	0.000007724	0.218922689
26	70	5	2	0.000005583	0.166465478
27	70	5	3	0.000003662	0.103257337

Fuente: Elaboración propia.

Previo al tratamiento del diseño factorial, se realizó la prueba de normalidad de los datos % P/P Antocianina / Maiz, y se obtuvo lo siguiente:

GRAFICA N° 5.4

PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS % P/P ANTOCIANINA / MAIZ



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior, para un nivel de confianza de 95% ($\alpha=0.05$), el valor p resulta $p = 0.030 < 0.05$, por lo tanto los datos son normales y representan adecuadamente a la población.

El análisis del diseño factorial se realizó con el software Minitab y se registró como resultado:

Análisis del diseño factorial 3³

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Temperatura	fijo	3	50; 60; 70
Relación Peso	fijo	3	5; 15; 20
Espesor	fijo	3	1; 2; 3

Análisis de varianza para % P/P Antocianina / Maíz, utilizando SC ajustada para Pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Temperatura	2	0.007647	0.007647	0.003824	1.01	0.383
Relación Peso	2	0.033171	0.033171	0.016585	4.37	0.027
Espesor	2	0.012927	0.012927	0.006463	1.70	0.207
Error	20	0.075903	0.075903	0.003795		
Total	26	0.129647				

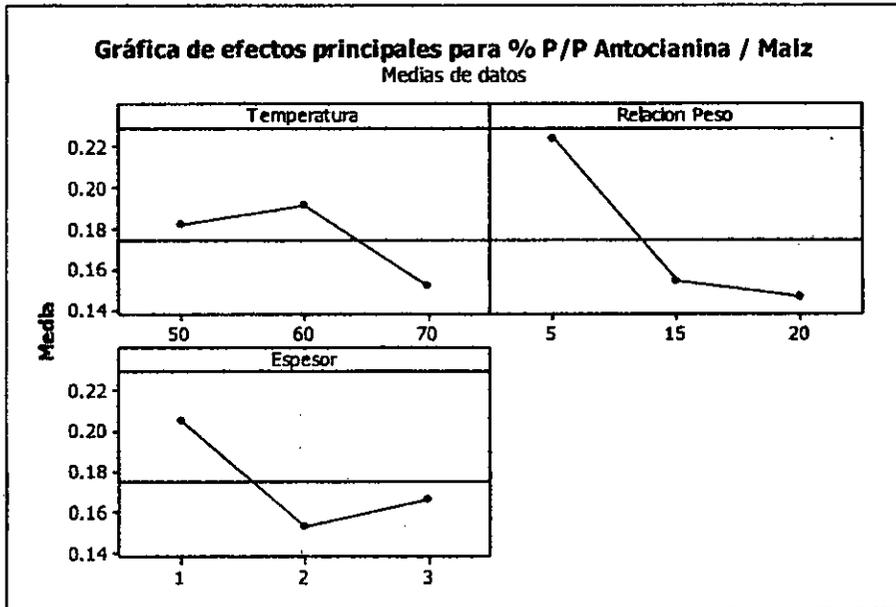
S = 0.0616048 R-cuad. = 41.45% R-cuad.(ajustado) = 23.89%

Medias de cuadrado mínimo para % P/P Antocianina / Maíz

	Media	Error estándar de la media
Temperatura		
50	0.1818	0.02053
60	0.1910	0.02053
70	0.1516	0.02053
Relacion Pes		
5	0.2241	0.02053
15	0.1540	0.02053
20	0.1462	0.02053
Espesor		
1	0.2048	0.02053
2	0.1533	0.02053
3	0.1662	0.02053

GRAFICA N° 5.5

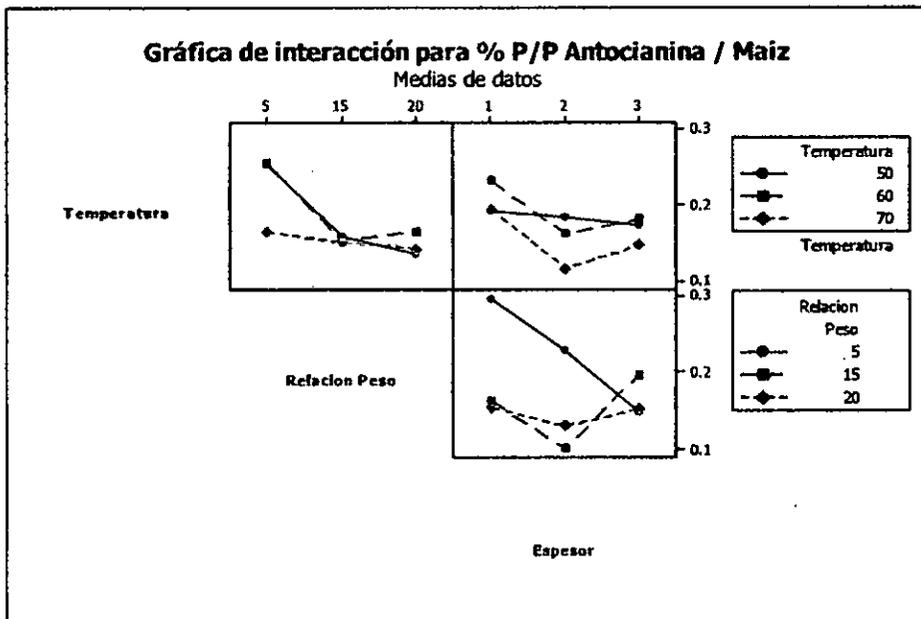
GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES



Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA N° 5.6

GRÁFICA DE INTERACCIONES



Fuente: Elaboración propia.

Del análisis del diseño factorial se afirma que la relación de peso, con un valor $p = 0.027 < 0.05$, es una variable significativa para los experimentos. Esto quiere decir que la respuesta depende principalmente de la variable significativa. En lo que respecta a las otras variables, estadísticamente son no significativas para el experimento a un nivel de confianza de 95%.

De las gráficas de efectos principales e interacciones se observa que la condición óptima se obtiene cuando: [temperatura = 60°C, relación peso = 5g/1500mL, espesor = 1cm] ya que en estos puntos se obtiene valores máximos en la respuesta. En la experimentación se registra un valor máximo de 0.344454199 % P/P antocianina / maíz morado.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación de hipótesis con los resultados

6.1.1. Influencia del tamaño de partícula de la coronta del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) en el proceso de extracción de antocianinas a mayor área de contacto con el agua.

Las pruebas cuantitativas de la antocianina del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) obtenida para la determinación de la cinética de extracción se realizaron con distintos tamaños de partícula, tomando los espesores de 1 cm, 2 cm y 3 cm; para estudiar su comportamiento todos los parámetros fueron modelados estadísticamente en el software minitab, dando valores óptimos en 60°C y 5g/1500ml.

De los parámetros antes mencionados se observa para un espesor de 1cm se tiene un valor máximo de 0.3445 %P/P antocianina/maíz morado, para un espesor de 2cm se tiene valor máximo de 0.1922 %P/P antocianina/maíz morado y para un espesor de 3cm se tiene valor máximo de 0.2304 %P/P antocianina/maíz morado.

Por lo descrito se determina que es posible determinar la influencia del tamaño de partícula de la coronta del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) en el proceso de extracción de antocianinas a mayor área de contacto con el agua, presentando mejores resultados en un tamaño de partícula de 1cm.

6.1.2. Influencia de la relación peso de coronta/ volumen de agua en el proceso de extracción de antocianinas del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) en mayor cantidad de agua.

Las pruebas cuantitativas de la antocianina del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) obtenida para la determinación de la cinética de extracción se realizaron con distintos pesos en 1 litro y medio de agua, tomando los pesos aproximados de 5g, 15g, 20g; para estudiar su comportamiento todos los parámetros fueron modelados estadísticamente en el software minitab, dando valores óptimos en 60°C y 1cm de espesor.

De los parámetros antes mencionados se observa para un peso de 5g se tiene un valor máximo de 0.3445 %P/P antocianina/maíz morado, para un peso de 15g se tiene valor máximo de 0.1853 %P/P antocianina/maíz morado y para un peso de 20g se tiene valor máximo de 0.1637 %P/P antocianina/maíz morado.

Por lo descrito se determina que es posible determinar la influencia de la relación peso de coronta/ volumen de agua en el proceso de extracción de antocianinas del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) en mayor cantidad de agua, presentando mejores resultados en un peso de coronta de 5g.

6.1.3. Influencia de la temperatura en la extracción de antocianinas del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) a mayor velocidad de extracción.

Las pruebas cuantitativas de la antocianina del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) obtenida para la determinación de la cinética de extracción se realizaron con distintas temperaturas en 1 litro y medio de agua, tomando las temperaturas aproximadas de 50°C, 60°C, 70°C; para estudiar su comportamiento todos los parámetros fueron modelados estadísticamente en el software minitab, dando valores óptimos en 1cm de espesor y 5g/1500ml.

De los parámetros antes mencionados se observa para una temperatura de 50°C se tiene una velocidad de extracción máxima de $1.664 \times 10^{-7} \text{ g/ml.s}$, para una temperatura de 60°C se tiene una velocidad de extracción máxima de $1.164 \times 10^{-7} \text{ g/ml.s}$ y para una temperatura de 70°C se tiene una velocidad de extracción máxima de $0.972 \times 10^{-7} \text{ g/ml.s}$.

Por lo descrito se determina que la Influencia de la temperatura en la extracción de antocianinas del maíz morado (Zea Mays, variedad morada) a mayor velocidad de extracción, presentando mejores resultados en temperaturas altas.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.

Según Gorriti Arilmi y compañeros (2009), investigaron las condiciones óptimas de extracción de antocianinas de las corontas del maíz morado, mediante el empleo de un diseño completo al azar; los factores estudiados fueron pH, solvente, tiempo y temperatura. Los resultados mostraron antocianinas entre 8.404 y 47.984 mg/g de coronta.

El análisis individual de los factores y sus interacciones corroboran q la extracción de antocianinas de las corontas del maíz morado depende de la temperatura y del tiempo de extracción, siendo favorecidas por el medio etanólico al 20% y pH entre 2 y 4, alcanzando valores de 46.534 mg de antocianina/g de muestra.

En contraste con nuestro trabajo, los factores estudiados fueron temperatura, peso y espesor de la coronta, todos en medio acuoso. Los resultados mostraron un valor máximo de 0.3445 %P/P antocianina/maíz morado, para un tamaño de partícula de 1 cm a 60°C y 5g de coronta de maíz morado (*Zea Mays*, variedad morada) en 1.5L de agua.

VII. CONCLUSIONES

- a) El orden de extracción de la cinética de extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado en condiciones óptimas en nuestra operación resultó $k = -0.0511031 \left(\frac{g}{ml}\right)^{-0,0376} s^{-1}$ y una constante $b = 4,285 \times 10^{-7} g/ml.s$
- b) Existe una relación inversa con el espesor de coronta de maíz morado y el espesor más óptimo resulto el de 1cm para nuestras pruebas experimentales.
- c) Existe una relación directa con la temperatura de extracción y la más óptima para nuestras pruebas experimentales resulto a 60°C.
- d) Existe una relación inversa con el peso de coronta/ volumen de agua donde el peso más óptimo para nuestras pruebas experimentales resulto de 5 gr.

VIII. RECOMENDACIONES

8.1. En la antocianina obtenida

- Usar para toda la operación corontas secas que se encuentren en buen estado, evitando corontas que contengan hongos, en su caso aflatoxinas.
- Tener en cuenta que la temperatura se debe mantener constante para ello, el uso de la barra electromagnética es necesaria, así como de bajar el nivel de calefacción de la parrilla.
- Para el retiro de las muestras cada 5 min hacer uso del caño dispensador adaptado al reactor.
- Para hermetizar el reactor es necesario usar tapones, uno de ellos con agujero para la colocación del termómetro de Hg.
- No olvidar rotular los envases de colocación de muestra ya que al ser mucho podrían ser confundidos.

8.2. En el análisis cuantitativo de la antocianina del maíz morado mediante espectrofotometría UV- visible

- Usar antocianina de buena procedencia que sea proveniente de maíz morado.
- Cada vez que se cambia de muestra de análisis, enjuagar con agua destilada.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILERA ORTIZ, MIGUEL. **Caracterización y estabilidad de las antocianinas de Higo Ficus carica variedad Misión, cultivado en la ciudad Lerdo Durango. México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Acentuación en Alimentación. 2009**
2. ALARCÓN, C. **Optimización de Parámetros de Extracción de Antocianinas de Maíz Morado (Zea mays L.) por el método de superficie de respuesta y verificación experimental. Tesis de maestría. Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 2015.**
3. BADUI DERGAL, SALVADOR. **Química de los Alimentos. México. Pearson Educación. Cuarta Edición. 2006**
4. CASTAÑEDA OVANDO, ARACELI; MENDOZA HUIZAR, LUIS; PACHECHO HERNANDEZ, LOURDES. **Estudios de cinética y cálculos teóricos de constantes de acidez para antocianinas presentes en el maíz criollo azul. México. Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2004**
5. DELGADO ESPINOZA, J. **Ensayos sobre el uso de microcapsulantes en el secado por atomización del concentrado de maíz morado (Zea Mays L.). Tesis para optar por**

- el Título Profesional de Ingeniero en industrias alimentarias. Perú.
Universidad Agraria la Molina. 1989.
6. ELIAS SANSONI, JOSE ANTONIO; GAMERO COLLADO, DERY. **Obtención de colorante a partir del Maíz Morado.** Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Químico. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 1988
 7. ESTRADA ARIAS, KAREN SHAINDEL. **Estudio de liberación de antocianinas y otros compuestos fenólicos de maíz morado desde el interior de una emulsión doble w1/o/w2 y determinación del coeficiente de difusión.** México Tesis para optar por el grado de Maestría en Ciencia en Ingeniería Química. Universidad Iberoamericana. 2013
 8. GARZÓN, GLORIA ASTRID. **Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos.** Colombia. Acta biológica Vol. 13 N°3 (27-36). Universidad Nacional de Colombia. 2008
 9. GONZÁLES GUTIERREZ, LINDA VICTORIA. **Estudio de la degradación de un colorante azo rojo reactivo en un biorreactor anaerobio de flujo ascendente.** Instituto tecnológico de Celaya. Departamento de Ingeniería Química-Calaya. 2006
 10. GORRITI GUTIERREZ, ARILMI. ARROYO ACEVEDO, JORGE; NEGRON BALLARTE, LUISA; JURADO TEIXERA, BERTHA; PURIZACA LLAJARUR, HARDD; SANTIAGO AQUISE, ILARIO; TAYPE ESPINOZA, EVELYNG; QUISPE JACOBO, FREDY.

- Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidantes de las corontas del maíz morado (Zea mays L.): Método de extracción. Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas Medicinales y Aromáticas, vol.8, núm. 6, pp. 509-518. Universidad Santiago de Chile.2009**
11. INEI. **Los estratos o grupos sociales y la fecundidad.**
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0014/estrafec.htm articulo web. Consultado el 18 de abril del 2016.
12. KRAFT, ROMINA; CHIANDONI, FLORENCIA. **Modelamiento matemático de cinética de extracción. Determinación de flavonoides totales en raíces de achicoria.** Argentina. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional del Rosario.
13. LOPEZ GUZMA, GRACIELA; GOMEZ JUAN F.; AGUILAR JUAN A.; RUELAS H. PABLO y VALDIVIA ROBERTO. **Aislamiento de los genes de la ruta biosintética de antocianinas en Jamaica (Hibiscus Sabdariffa).** Jalisco-México. Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Instituto tecnológico de Hajeomulco.2011
14. MANRIQUE CHAVEZ, A. **El maíz morado peruano.** Ministerio de Agricultura- INIA, Lima Perú. 1995.
15. MEDINA REGALADO, GINA. **Extracción del colorantes Antocianina a partir del Maíz Morado y su Aplicación en la**

- Industria Alimentaria.** Perú. Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.2012.
16. MINCETUR. **Ministra Magali Silva: “colorantes naturales peruanos se posicionan internacionalmente”.**
<http://ww2.mincetur.gob.pe/ministra-magali-silva-colorantes-naturales-peruanos-se-posicionan-internacionalmente/>, artículo web. Consultado en 18 de abril del 2016.
17. ORGANISMO PUBLICO SIERRA EXPORTADORA. **Perfil Comercial: Antocianina de Maíz Morado.** Perú. Presidencia del Consejo de Ministros.2012
18. PARRA ORTEG, VERONICA PAZ. **Estudio comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos, desde el punto de vista funcional y toxicológico.** Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias de los Alimentos. Chile. Universidad Austral de Chile. 2004
19. PINO, F; PEREZ, D. **Análisis de elementos-traza por espectrofotometría de absorción molecular ultravioleta-visible.** Sevilla. Editorial de Sevilla. Primera edición. 1983.
20. PRODUCTORES INCA SAC. **Ficha Técnica del Maíz Morado.**
http://www.productoresmaizmorado.com/documentos/Ficha_MaizMorado.pdf.Artículo web. Consultado el 18 de abril del 2016.

21. ROBERT W. DURST, RONALD E. WROLSTAD. **Separación y caracterización de antocianinas por HPLC.** Nueva Jersey, Estados Unidos. Editorial Wiley. Primera edición. 2001.
22. SANDOVAL, A. **Cinética de la degradación térmica de antocianinas en zumo pasteurizados de Granada (*Punica granatum*) y Arándano (*Vaccinium myrtillus*).** Tesis para título. Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 2015.
23. SANTACRUZ CIFUENTES, LILIANA ANDREA. **Análisis Químico de antocianina en frutos silvestres colombianos.** Bogotá. Tesis de Maestría en Ciencia Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. 2011
24. SHIRATA YOSHIKO. **Colorantes naturales.** México. Editorial YOSHIKO SHIRATA KATO. Primera edición. 2007.
25. UNIDAD DE IMAGEN INSTITUCIONAL MINISTERIO DE AGRICULTURA. **En 16,4% aumentó producción de maíz morado.** <http://www.minagri.gob.pe/portal/168-notas-de-prensa/notas-de-prensa-2010/4659-en-164-aumento-produccion-de-maiz-morado>, artículo web. Consultado en 18 de abril del 2016.
26. ZAPATA LUZ, MARINA. **Obtención de Extracción de Antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidantes y colorante en la Industria Alimentaria.** España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de tecnología de Alimentos. 2014.

X. ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

CONSTANCIA N° 175-USM-2016

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (planta completa), recibida de Edward Leonardo SILVA VALERIO, estudiante de la Universidad Nacional del Callao, ha sido estudiada y clasificada como: *Zea mays* L.; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1981):

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUB CLASE: COMMELINIDAE

ORDEN: CYPERALES

FAMILIA: POACEAE

GENERO: Zea

ESPECIE: Zea mays L.

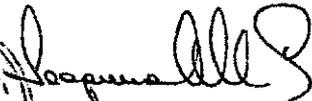
Nombre vulgar: "maíz morado".

Determinado por: Mag. María I. La Torre A.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para fines de estudios.

Fecha, 08 de agosto de 2016




Dra. JOAQUINA ALBAN-CASTILLO
DIRECTORA (e) DEL MUSEO DE
HISTORIA NATURAL

000



ORQ NOR CHEMICAL S.A.

ESPECIFICACION TECNICA PARA PURPLE CORN ANTHOCYANIN

DC-E-4-42-318

Versión: 3

PRODUCTO:

PURPLE CORN ANTHOCYANIN

1. DESCRIPCIÓN:

Extracción acuosa de antocianina (E-163) a partir de la corona de maíz morada

2. CERTIFICACIÓN



3. INGREDIENTES:

Antocianina de corona de maíz morada, maltodextrina y agua.

4. USOS:

Refrescos, frutas, jugos, bebidas alcohólicas, helados, yogur, cosméticos, etc.

5. PROPIEDADES FÍSICAS

TEXTURA:

Polvo fino rojo oscuro

SABOR/OLOR:

Característico

6. ANALISIS FISICOQUÍMICOS:

% ANTOCIANINA

De acuerdo al cliente. Desde 5 a 11. Estándar 11%

pH al 1%

1,8 - 2,8

Humedad:

3-7%

Solvente residual *

max. 50 ppm.

* a solicitud del cliente

7. PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS:

Aerobios mesófilos(*)	< 1000 /g
Hongos(**)	< 100 /g
Levaduras(**)	< 100 /g
Coliformes totales(**)	< 10 /g
Salmonella sp. (**)	negativo /25 g
E. Coli**	< 3 NMP/g

8. PUREZA

Metales pesados (e)

Arsénico(*)	max. 3ppm
Plomo(**)	max. 2ppm
Mercurio(*)	max. 1ppm
Cadmio(*)	max. 1ppm

(*)De acuerdo al reglamento (UE) N°231/2012. Se establece especificaciones para los aditivos alimentarios que figuran en los anexos II y III del reglamento (CE) N°1831/2003 del parlamento Europeo y del consejo.

9. ALMACENAMIENTO

Proteger del aire y la luz. Mantener en ambiente fresco

10. VIDA UTIL:

36 meses

(*) una vez al año o cuando el cliente lo solicite

(**) Cuando el cliente lo solicite.

Estos colorantes naturales son extraídos de frutas y vegetales según la información descrita arriba y desde de buena fé. Si hubiera algunos cambios nosotros comunicamos a nuestros clientes.

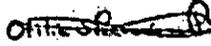
Planta & Local sales: Av. Los Plátanos 279 Urb. Industrial Infantes Los Olivos, Lima-Perú
E-mail: orqnor@orqnor.com.pe Phones: (511) 511-1919 / 528-0896 Fax: (511) 528-0893
International Sales & Export Phones: (511) 480-0979 / 463-2080 Fax: (511) 261-2471
E-mail: orqnor@orqnor.com.pe or orqnor@orqnor.com.pe www.orqnor.com.pe

	CERTIFICADO DE CALIDAD N° A54-112016	DC-F-4.4.2-001
		Versión: 03

NOMBRE DEL PRODUCTO : PURPLE CORN ANTHOCYANIN 10%
IDENTIFICACIÓN / LOTE : AM - 1611053
CANTIDAD : 20 g.
CODIGO : 8685
CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FECHA DE PRODUCCIÓN : 23 SETIEMBRE 2016
FECHA DE VENCIMIENTO : 23 SETIEMBRE 2018

PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS	MÉTODO DE REFERENCIA
CONCENTRACIÓN	(9 - 11)%	10,5%	ORGINOR DC-1-4.4.2-010
INTENSIDAD DE COLOR	N.A.	N.A.	--
PH (1%)	1,8 - 2,8	2,36	ORGINOR DC-1-4.4.2-005
SOLUBILIDAD EN AGUA	SOLUBLE	SOLUBLE	--
HUMEDAD	(3,0 - 7)%	4,01%	ORGINOR DC-1-4.4.2-014

N.A.: No Aplica
Observación: ---
Fecha de Emisión: 23/11/16



Ing. Ofelia Ramirez Paredes
CIP: 46854
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD