



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

Facultad de Ingeniería de Ingeniería Química y Petroquímica



Tesis:

“Influencia del grado de maduración del arándano en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol”

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Línea de investigación: Ciencias Naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles.

Autor: BRAYAN EMERSON GARCÍA CHUQUIHUACCHA

ASESOR. Mag. JORGE ENRIQUE ESPINOZA LA ROSA

ICA – PERÚ 2026

DEDICATORIA

A **Dios**, fuente de fortaleza y sabiduría, por guiarme siempre y darme la luz en cada paso. A mis padres, cuyo amor y sacrificio han iluminado mi camino, enseñándome a perseverar y a soñar en grande.

A mis familiares por su apoyo incondicional y motivación constante.

A todos ustedes, que han sido mi refugio y fuerza, les dedico este logro con gratitud y amor infinito.

AGRADECIMIENTOS

A lo largo del desarrollo de esta investigación, he contado con el apoyo invaluable de muchas personas e instituciones, a quienes quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a la **Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”** por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional. A la **Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica**, por ser el espacio donde he adquirido conocimientos y experiencias fundamentales en mi camino como ingeniero químico.

A mis **profesores**, quienes con su dedicación y enseñanza me han guiado en esta etapa de formación. En especial, extendiendo mi gratitud a mi **asesor de tesis**, por su paciencia, orientación y valiosos consejos que hicieron posible la culminación de este trabajo de investigación. Su compromiso y experiencia han sido un pilar fundamental en este proceso.

A mi **familia**, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí en cada paso de este camino. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis, mi más profundo agradecimiento

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	13
2.3. Marco conceptual.	21
2.4. Estrategia metodológica.	21
2.5. Procedimiento experimental.	22
III. RESULTADOS. 31 IV. DISCUSIÓN.	49
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES.	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	52
VIII. ANEXOS.	53

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación botánica del arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.).	14
Tabla 2. Valor nutricional del arándano.	17
Tabla 3. Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 01)	31
Tabla 4. Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 01)	32
Tabla 5. Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 02)	33
Tabla 6. Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 02)	34
Tabla 7. Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 03)	35
Tabla 8. Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 03)	36
Tabla 9. Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 04)	37
Tabla 10. Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 04)	38
Tabla 11. Resultados de la extracción de antocianinas a pH 1,7	39
Tabla 12. Resultados de la extracción de antocianinas a pH 3,1	40
Tabla 13. Resultados de la extracción de antocianinas a pH 4,0	41
Tabla 14. Resultados de la extracción de antocianinas a pH 5,2	42
Tabla 15. Resultados de la extracción de antocianinas a pH 6,1	43
Tabla 16. Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 01)	44
Tabla 17. Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 02)	45
Tabla 18. Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 03)	46
Tabla 19. Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 04)	47
Tabla 20. Grado de madurez del arándano y concentración de antocianinas.	48

INDICE DE FIGURAS	iv
Figura 1. Arándanos en su plantación.....	14
Figura 2. Sistema radicular de la planta de arándano.....	15
Figura 3. Tallos del arándano.....	15
Figura 4. Hojas del arándano	16
Figura 5. Flores del arándano.....	17
Figura 6. Frutos del arándano	18
Figura 7. Estructura de la antocianina.....	19
Figura 8. Colores de los vegetales atribuidos a las antocianinas	20
Figura 9. Deterioro del arándano por efecto de la temperatura.....	23
Figura 10. Técnica para recolectar arándanos.....	24
Figura 11. Variación del color conforme madura el arándano.....	25
Figura 12. Colores de ensayo del arándano	26
Figura 13. Horno de mufla eléctrica para determinar cenizas.....	26
Figura 14. Equipo de destilación azeotrópica	27
Figura 15. Aparato Soxhlet.....	27
Figura 16. Esquema del equipo para determinar proteínas	28
Figura 17. Separación del hidróxido del residuo por filtración	28

Pág.

RESUMEN

La presente investigación titulada **“Influencia del grado de maduración del arándano en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol”**, es una investigación aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental, cuyo objetivo es determinar la influencia del grado de maduración del fruto de arándano en la concentración de antocianinas que se pueden recuperar empleando para ello la extracción sólido-líquido, en donde el metanol es el solvente al cual se le agregó en cantidades controladas HCl con el fin de modificar el pH hasta lograr el óptimo que permita una extracción eficiente del pigmento sin alterar su coloración. Los resultados experimentales indican que a un pH 5,2 se logra extraer hasta 159,32mg de antocianinas por cada 100g de arándanos, se ha establecido que a ese pH se estabiliza el color morado y pH más elevados lo desvirtúan. Se ha establecido que conforme madura el arándano es mayor la concentración de antocianinas y por tanto durante la extracción es mayor la cantidad del colorante que puede recuperarse. Cuando se inicia la maduración se extrae 48,59mg/100g y al término de la maduración se extrae 159,32mg/100g.

PALABRAS CLAVES: Arándanos, antocianinas, extracción ácida, metanol.

ABSTRACT

The present research entitled "Influence of the ripening stage of blueberries on the level of anthocyanin recovery through acid extraction in the presence of methanol" is an applied study, of an explanatory level and experimental design, whose objective is to determine the influence of the ripening stage of the blueberry fruit on the concentration of anthocyanins that can be recovered using solid-liquid extraction, where methanol is the solvent to which HCl was added in controlled amounts in order to adjust the pH to the optimum level that allows efficient pigment extraction without altering its coloration. The experimental results indicate that at a pH of 5.2, up to 159.32 mg of anthocyanins can be extracted per 100 g of blueberries, and it has been established that at this pH the purple color stabilizes, while higher pH levels distort it. It has been established that as the blueberry ripens, the concentration of anthocyanins increases, and therefore during extraction, the amount of dye that can be recovered is greater. When ripening begins, 48.59 mg/100g is extracted, and at the end of ripening, 159.32 mg/100g is extracted.

KEYWORDS: Blueberries, anthocyanins, acidic extraction, methanol.

I. INTRODUCCIÓN

El valor nutricional del arándano es relativamente bajo, sin embargo, es un fruto con un alto contenido de antocianinas que es considerado un antioxidante de mucha importancia para el organismo y que su contenido está en función al grado de maduración del arándano esto quiere decir que a medida que el fruto madura, la concentración de antocianinas aumenta, lo que confiere el color azul característico de la fruta madura. Los factores que influyen en la acumulación de estos pigmentos son varios entre ellos la temperatura y la luz. Los climas cálidos generalmente aceleran la acumulación de antocianinas. Así mismo una mayor radiación solar también promueve el desarrollo de color a través de la síntesis de antocianinas, las cuales actúan como un mecanismo de protección contra la luz ultravioleta.

Las antocianinas son los pigmentos que químicamente pertenecen al grupo de los carotenoides y que dan el color rojo, azul y morado a los arándanos maduros, y su cantidad aumenta significativamente a medida que la fruta madura, por lo que se le puede considerar como un indicador de la madurez del fruto. La concentración de antocianinas puede utilizarse para determinar el grado de madurez del arándano de forma rápida y precisa ya que existe una relación directa entre el cambio de color del fruto durante la maduración y el contenido de compuestos coloreados, como las antocianinas. A medida que la fruta pasa de un estado verde a uno completamente azul, se produce un aumento de antocianinas.

Para la industria química y alimentaria, las antocianinas son de gran importancia principalmente por sus propiedades como pigmentos naturales, antioxidantes y antimicrobianos. Estas características las convierten en candidatas para sustituir colorantes sintéticos en las industrias de alimentos, farmacéutica y cosmética, ofreciendo soluciones más seguras y beneficiosas para la salud. Además, su estabilidad química, influenciada por factores como el pH, la luz y la temperatura, presenta desafíos y oportunidades para la ingeniería de procesos que buscan optimizar su extracción, purificación, estabilización y aplicación en productos.

Estos pigmentos antioxidantes en la industria alimentaria se utilizan como colorantes naturales para alimentos y bebidas, aportando colores atractivos y sustituyendo a los sintéticos y en la industria farmacéutica y cosmética se incorporan en formulaciones debido a su actividad antioxidante, que puede ofrecer beneficios para la salud como la prevención de enfermedades crónicas, y a sus propiedades antimicrobianas.

Como la mayoría de los compuestos pertenecientes a los carotenoides su extracción es delicada ya que es un compuesto muy inestable, debido a ello se requieren técnicas de extracción más eficientes y ecológicas que utilizan menos disolvente y reducen la degradación del producto que no afecten su estabilidad frente a factores como pH, luz y temperatura es un desafío clave. La

copigmentación y la acilación son estrategias para mejorar su estabilidad. Considerando estos inconvenientes en la extracción de las antocianinas, la ingeniería química se enfoca en diseñar procesos para recuperar las antocianinas de forma eficiente desde soluciones de deshidratación de alimentos, por ejemplo. Además de ello, se utilizan técnicas de ingeniería metabólica y cultivos de células para la producción controlada de antocianinas, con el objetivo de mejorar la producción y modular sus propiedades para aplicaciones específicas.

Planteamiento del problema.

Diversas investigaciones realizadas sobre los beneficios de los arándanos aseguran con evidencias médicas que esta fruta mejora la salud cardiovascular, reduce el riesgo de enfermedades crónicas y mejorar la salud visual tienen, además, propiedades antioxidantes, ya que actúa neutralizando radicales libres y reduciendo el estrés oxidativo, todos estos beneficios se deben principalmente a las antocianinas que contiene esta fruta en la cáscara. Estas antocianinas pertenecen a los carotenoides, un grupo de metabolitos primarios cuyo color varía entre azul claro y azul oscuro, que tienen acción fisiológica y se ven afectados por múltiples factores entre los cuales están: el pH, la luz, los ácidos y la temperatura los mismos que influyen negativamente en su extracción, afectando su calidad ya que se degradan transformándose en otros compuestos químicos que no tienen efecto alguno sobre el organismo. Por este motivo es necesario controlar las condiciones en las cuales son extraídas las antocianinas que es lo que se hará en el desarrollo de esta investigación.

Formulación del problema.

Problema general.

¿El grado de maduración del arándano influye en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol?

Problemas específicos:

- ¿Cuál es el grado de maduración óptimo del arándano que se debe de considerar para obtener una buena recuperación de antocianinas?
- ¿Cuál es la máxima concentración de antocianinas en el arándano que puede ser extraído en un medio ácido con metanol?

Objetivos.

Objetivo general

Determinar la influencia del grado de maduración del arándano en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol

Objetivos específicos:

- Determinar el grado de maduración óptimo del arándano que se debe de considerar para obtener una buena recuperación de antocianinas.
- Determinar la máxima concentración de antocianinas en el arándano que puede ser extraído en un medio ácido con metanol

Hipótesis y variables de la investigación.

Hipótesis General.

El grado de maduración del arándano influye directamente en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol

Hipótesis específicas:

- El grado de maduración óptimo del arándano que se debe de considerar para obtener una buena recuperación de antocianinas es el máximo grado.
- La máxima concentración de antocianinas en el arándano que puede ser extraído en un medio ácido con metanol es ilimitado.

Variables:

Variable independiente:

Grado de maduración del arándano.

Variable dependiente.

Nivel de recuperación de antocianinas.

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

En el desarrollo de la tesis se abordará el estudio de las antocianinas, un carotenoide de mucha importancia para el tratamiento de diversas enfermedades en las que se incluye el cáncer, se estudiará además sus propiedades fisicoquímicas y los métodos para la extracción sin afectar la calidad del producto, en esto se justifica el desarrollo teórico de la presente investigación.

Justificación metodológica:

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación se justifica ya que su desarrollo se ajusta al método científico, Su diseño será experimental, lo que significa que para demostrar la hipótesis se deberán realizar múltiples ensayos para la extracción de la antocianina y para determinar parámetros adecuados para esa extracción.

Justificación social:

Establecer parámetros óptimos para la extracción de antocianinas y lograr un método eficiente que permita extraer esta sustancia con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica, justica socialmente el desarrollo de esta investigación.

Justificación ecológica:

Desde el punto de vista ecológico, esta investigación se justifica porque plantea el uso de un método de extracción que puede considerarse amigable con la naturaleza, se empleará solo metanol a un pH ácido el cual se regulará con HCl en pequeñas cantidades.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

A nivel internacional:

M. Arteaga [1] presentó una investigación en la cual se evalúa el color en relación con el contenido de antocianinas en el arándano, lo cual implicaba estudiar el grado de maduración de la fruta. Para los estudios experimentales la autora consideró la recolección de frutos desde los más verdes hasta los más negros que se consideran se encuentran en un alto grado de maduración. La medición del color se realizó de acuerdo con la escala CIE $L^*a^*b^*$ determinándose la diferencia de color (ΔE). Para determinar el contenido de antocianinas y clorofila se empleó el método instrumental de espectrofotometría UV-VIS. Para la evaluación se fijaron cinco estados de madurez: (1) verde, (2) verde/rosado, (3) rosado, (4) rosado/negro y (5) negro. Según la tesista la maduración es inversamente proporcional a la cantidad de luz recibida y a la saturación del color. Los valores positivos de color fueron para a^* y negativos de b^* para los estados de madurez 3, 4 y 5 (color rojo y azul); se determinó también un incremento de 13700mg/kg del contenido de antocianinas.

L. Zapata [2], presentó una tesis sobre la obtención de extracto de Antocianinas a partir de Arándanos con el fin de poder utilizarlo en complemento en la preparación de alimentos a nivel industrial. En la tesis de diseño experimental se hizo uso del método experimental de extracción sólido líquido y el método biotecnológico de la fermentación bajo condiciones controladas, pudiendo en ambos casos obtener los extractos, los cuales conservaron el color oscuro, aunque diluidos por lo que fue preciso para concentrarlos emplear un rotavapor que permitió bajo condiciones específicas concentrar el extracto recuperando el alcohol metílico empleado en el proceso.

A nivel nacional.

B. Cerón [3], en su tesis que aborda el estudio de la extracción, caracterización y estabilidad de antocianinas obtenidas de la zarzamora, aplicó el método de extracción sólido-líquido empleando como solvente el alcohol etílico el cual se acidificó empleando ácido clorhídrico, de manera paralela se realizó otro ensayo en el que se utilizó solamente agua y etanol, vale decir se empleó etanol diluido. El resultado de estas pruebas experimentales indica que el etanol diluido es un mejor agente para la extracción de antocianinas, además en la tesis se desarrolla toda una investigación en torno al grado de madurez del arándano, los métodos para determinar su desarrollo vegetativo con exactitud y no perjudicar la cosecha de este fruto.

S. Quispe y R. Solorzano, [4] en su tesis sobre la extracción de antocianinas y otros metabolitos secundarios a partir del arándano y la determinación de las propiedades físicoquímicas de las sustancias extraídas, en la parte experimental desarrolla la técnica de extracción sólido -líquido, empleando como solvente alcohol metílico acidificado con ácido clorhídrico, e cual fue dosificado en varias cantidades a fin de no afectar la calidad del colorante, que debido a que es un carotenoide se ve afectado por la luz, los ácidos y la temperatura. Los resultados obtenidos indican que la concentración del alcohol y del ácido tienen una influencia directa en la calidad de la antocianina obtenida, la cual se obtiene en cantidades mayores cuando la fruta está totalmente madura, su contenido va desde 600 a 800 mg/por 100 gramos de fruto.

A nivel local.

En las universidades de la ciudad de Ica, no se ha encontrado repositorios sobre el tema propuesto en esta investigación.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Arándano

El árbol que produce el arándano es un arbusto perenne, generalmente de hoja caduca, que habita en ciertas regiones de Europa, Asia y América, donde se le puede ver en estado silvestre en las márgenes de los caminos. Esta especie vegetal está incluida en la familia de las Ericaceae y en el género *Vaccinium*, su fruto es bajo en calorías y sodio, es fuente de fibras y pectina, se destaca por su alta concentración en vitamina C, se consume como fruto fresco o procesado.

El arándano es un árbol de porte bajo (arbustivo) y perenne, es catalogada como una planta caducifolia. Se consume mucho su fruto por ser bajo en calorías y sodio, es fuente importante de fibras y pectina, destacándose por su alta concentración en vitamina C.



Figura 1. Arándanos en su plantación.

Clasificación botánica del arándano.

La clasificación taxonómica del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) se da en la tabla 1 que a continuación se cita.

Tabla 1 Clasificación botánica del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.)

Taxon	Nombre
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Dilleniidae
Orden	Ericales
Nombre común	Arándano, mirtilo
Familia	Ericaceae
Género	<i>Vaccinium</i>
Especie	<i>Angustifolium</i>

Fuente: INTA (2011).

Descripción morfológica

Raíz

La planta de esta especie carece de raíz pivotante o principal, por lo tanto, su sistema radicular es superficial, fibroso, fasciculado, presenta escasos pelos radiculares, de manera que las raíces denominadas juveniles se encargan de la absorción de agua y nutrientes en solución, esta función es desarrollada por las células de la epidermis. Las raíces se desarrollan y distribuyen a una profundidad de 40 cm; por lo tanto, es altamente susceptible a los excesos de humedad, razón por la cual es fundamental y definitivo efectuar una óptima preparación del suelo, el uso de sustratos adecuados y la aplicación de hongos simbióticos específicos como el *Hymenoscyphus ericae* o *Pezizella ericae*, que entre otras funciones sirven para estimular la absorción y aprovechamiento de agua y nutrientes, incentivar el desarrollo vegetativo principalmente en la etapa de establecimiento y para proteger a la planta de elementos tóxicos en exceso, principalmente de aluminio



Figura 2. Sistema radicular de la planta de arándano.

Tallo

Desde la base de la planta surgen numerosos tallos delgados, leñosos y de variado diámetro que depende de la edad de la planta; puede ser de color verde o marrón según la variedad; en el tallo se diferencian las yemas vegetativas y reproductivas. El arándano generalmente se desarrolla como un arbusto perenne; dependiendo de la variedad puede alcanzar en su edad adulta hasta tres metros de altura.



Figura 3. Tallos del arándano.

Hojas

Las hojas del arándano tienen una longitud entre 4 a 7 cm; son de color verde pálido a verde oscuro dependiendo de la variedad; son glabras, de forma oval o lanceolada, de margen entero o aserrado y en este caso pueden poseer un cilio en el ápice de cada diente; se disponen en forma alterna sobre el tallo.



Figura 4. Hojas del arándano.

Flores

El sistema floral del arándano es completo, es decir, sus flores poseen: cáliz, corola, pistilo y estambres. Sus sépalos están unidos y forman un cáliz acampanado con las puntas libres. Las flores poseen pedúnculo, pueden ser axilares o apicales y se abren solitarias o en racimos de seis a diez unidades; constan de cinco pétalos de color blanco y tonos rosas en algunos cultivos. La corola es de forma esférica, de color verde, en ella sobresale el estigma; el ovario está unido al cáliz, contiene entre cuatro y cinco celdas con uno o más óvulos por cada lóculo; en la base de la corola están insertados entre ocho a diez estambres.

Poseen corola formada por pétalos unidos con la apariencia de una olla o urna (corola urceolada), de color blanco o con manchas rosadas y con las puntas (lóbulos) separadas. En las ramas de la planta las flores cuelgan con la apertura hacia abajo (flores péndulas). Cada flor posee entre 8 y 10 estambres que se insertan en la base de la corola, alrededor del estilo. Las anteras de los estambres liberan el polen por un poro (antera poricida) y el polen viene en paquetes de cuatro unidades (tétradas). Los estambres son más cortos que los estilos y es receptivo solo en la punta, es decir, en el estigma. El cáliz cubre el ovario y en su parte superior se encuentra el nectario (glándula) que produce el néctar.



Figura 5. Flores del arándano.

Fruto

El fruto del arándano constituye una baya esférica con 0,7 cm a 1,5 cm de diámetro, en su superficie se diferencia una capa cerosa denominada “bloom” que funciona como una película o recubrimiento de protección ante la ocurrencia de daños mecánicos o de ataques de microorganismos; en el interior (endocarpio) se pueden desarrollar hasta 100 semillas; el color depende de la variedad, puede ser azul, negro y morados que van cambiando al paso del tiempo. Generalmente los frutos de mayor tamaño se ubican más cerca de la rama principal; en la medida que la distancia aumenta, el tamaño va disminuyendo.

En la parte central del fruto presenta una cicatriz estilar que comercialmente se recomienda que tenga tamaño reducido y que sea seca. Esta característica se toma como referencia para diferenciar las variedades y estimar los grados Brix (°Bx).



Figura 6. Frutos del arándano.

Calidad nutricional del arándano

Los valores nutricionales del arándano reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) indican que este fruto por cada 100 g de fruto aporta 60 kcal, contiene 2,4 g de fibra dietética, 0,74 g de proteína, 9,96 g de azúcares, 9,7 mg de vitamina C y 0,33 g de grasas. Los valores nutricionales del arándano se reportan en la tabla 2.

Tabla 2 Valor nutricional del arándano

Componente	Concentración
Proteína, g	0,74
Lípidos, g	0,33
Carbohidratos, g	14,49
Azúcares, g	9,96
Fibra dietética, g	2,4
Cenizas, g	0,21
Agua, g	84,61
Calcio, mg	6,0
Hierro, mg	0,17
Magnesio, mg	5,0
Fósforo, mg	1,0
Potasio, mg	79,0
Sodio, mg	6,0
Zinc, mg	0,11
Vitamina C, mg	9,7
Tiamina, mg	0,05
Cianocobalamina (B12), mg	0,5
Niacina, mg	0,36
Vitamina B6, mg	0,4
Vitamina E, mg	1,0
Energía, Kcal	60

Fuente: SIAP- SAGARPA (2012).

2.2.2. Antocianinas.

El estudio químico de las antocianinas se basa en su estructura del catión flavilio, que consiste en un esqueleto C6-C3-C6 con dos anillos de benceno (A y B) unidos por un anillo C heterocíclico que contiene oxígeno. Las moléculas de las antocianinas son glucósidos de antocianidinas (agliconas), donde una o más moléculas de azúcar se unen

a la estructura. Su color es muy sensible al pH, cambiando de rojo en medio ácido a azul en medio básico.

Estructura química

Núcleo básico: es el catión flavilio, que tiene un esqueleto de 15 carbonos C6-C3-C6.

Aglicona: La antocianidina es la parte no azucarada de la molécula.

Glicona: La parte azucarada, que es unida a la aglicona por un enlace acetal a través de un grupo hidroxilo. Los glucósidos de antocianina comunes son los 3-O-β-glucósidos.

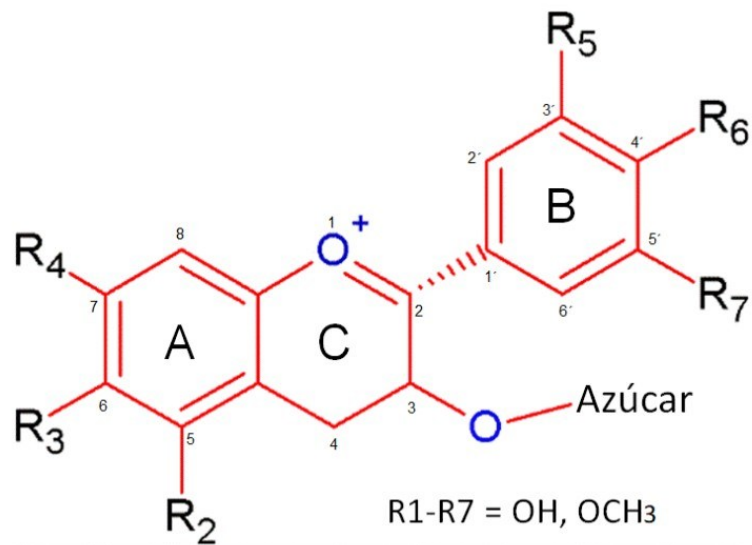


Figura 7. Estructura de la antocianina.

La estructura a menudo presenta grupos hidroxilo en varias posiciones, como C-3, C-5, C-7 (anillo A) y C-3', C-4', C-5' (anillo B). La adición de grupos hidroxilo o metoxilo determina el color final. La combinación de diferentes agliconas (como cianidina, delphinidina, pelargonidina, peonidina, malvidina y petunidina) y los patrones de glicosilación dan lugar a una amplia gama de colores, principalmente rojo, azul y morado.



Figura 8. Colores de los vegetales atribuidos a las antocianinas.

Reactividad y propiedades

Las antocianinas son muy sensibles al pH, el color de estas cambia drásticamente con él, lo que las hace útiles como indicadores de pH naturales. A un pH ácido son rojas, violetas a pH neutro y azules en pH alcalino.

Las antocianinas son muy reactivas debido a esto pueden actuar como electrófilos duros y blandos, reaccionando con nucleófilos. Y en cuanto a su estabilidad son compuestos lábiles que pueden degradarse por la luz, el calor y la oxidación. Las Antocianinas son muy consumidas por su actividad antioxidante que ayudan a proteger las células del estrés oxidativo.

Las antocianinas en el arándano.

En el arándano las antocianinas se encuentran en el fruto como metabolito secundario, como un grupo de compuestos orgánicos denominados flavonoides los cuales son visibles en la piel de los arándanos a la cual le imparten colores: rojo y azul característico, sirviendo como indicadores de la madurez de la fruta.

En la maduración del arándano se cambian bioquímicos, metabólicos y moleculares que afectan la apariencia de la fruta (por ejemplo, color) y los atributos organolépticos (por ejemplo, textura, sabor y aroma). Entre estos cambios bioquímicos se incluye el catabolismo de la clorofila, la síntesis de carotenoides y/o flavonoides, el desmontaje de la pared celular, la acumulación de azúcares y compuestos orgánicos volátiles y la disminución de los ácidos orgánicos.

En los frutos de arándano las antocianinas se acumulan en las vacuolas de las células epidermales y subepidermales, que se localizan en organelos esféricos conocidos como antocianoplastos. La presencia de las antocianinas en el fruto juega un rol importante en la atracción de animales favoreciendo la polinización y dispersión de semillas, además, son un factor importante junto a otros flavonoides en la resistencia contra plagas. Según investigadores el metabolismo biosintético de estos compuestos fenólicos parece responder a estímulos ambientales, como el incremento de los niveles de luz y que están involucrados en algunos tipos de respuesta a factores de estrés.

Debido a que últimamente existen restricciones sanitarias hacia el uso de colorantes sintéticos se han incrementado, las antocianinas han cobrado una gran importancia para la industria alimentaria, debido a su inocuidad y seguridad como aditivos alimentarios. El cambio de pH isomeriza a las antocianinas, variando su color y estructura del anillo central siendo más estables en medio ácido. Este cambio de pH permite el cambio de color: rojo en medio ácido, pasando por amarillo, a azul o violeta en medio alcalino, también puede formar una pseudo base incolora a pH 4,5. Por estas características se utilizan las antocianinas en medio ácido o ligeramente neutro en la industria alimentaria y también como indicadores. En el caso de los arándanos las antocianinas (glicósidos) se localizan principalmente en la cáscara, y en menor medida en la pulpa, se presentan como una combinación de cinco de las seis antocianidinas (agliconas) comunes.

Extracción de antocianinas.

La extracción de antocianinas de arándanos se realiza comúnmente con métodos sólido-líquido utilizando solventes como etanol, a menudo con adición de ácidos para estabilizar los pigmentos. Las técnicas incluyen la maceración, extracción asistida por ultrasonido (UAE) o extracción asistida por microondas (MAE), seguido de filtración, concentración y purificación para obtener un extracto rico en antocianinas.

Como se sabe existen muchos métodos para extraer las antocianinas, sin embargo, el uso de la maceración en ácido clorhídrico 1%, metanol 80% es el más común. El uso de ácidos fuertes como el HCl sirve para mantener un pH bajo, aunque su presencia puede, alterar la forma nativa del complejo de pigmentos rompiendo asociaciones con metales, copigmentos y proteínas. Se recomienda para no afectar las antocianinas durante su extracción el uso de solventes neutros (por ejemplo, 60% metanol, etilenglicol, n-butanol, acetona) y ácidos orgánicos débiles (ácido fórmico, ácido acético).

2.3. Marco conceptual.

Antocianinas:

Pigmentos vegetales solubles en agua que producen colores rojos, morados, violetas y azules en frutas, flores y verduras.

Flavonoides:

Grupo químico al que pertenecen las antocianinas.

Extracción:

Proceso de separar y obtener las antocianinas de su fuente vegetal.

Disolvente:

Sustancia líquida utilizada para disolver las antocianinas, como el etanol o el agua.

pH:

La acidez o alcalinidad del disolvente, un factor crítico que afecta el color y la estabilidad de las antocianinas.

Acidificación:

Se añade un ácido (como ácido cítrico o clorhídrico) al disolvente para estabilizar las antocianinas y evitar su degradación, especialmente en disoluciones alcalinas.

Extracción sólido-líquido:

Método donde un disolvente extrae los compuestos de un material vegetal sólido triturado.

Filtración:

Proceso de separar las partículas sólidas del líquido resultante para obtener un extracto claro.

Purificación:

Tratamiento posterior del extracto para eliminar impurezas.

Cuantificación:

Determinación de la cantidad de antocianinas presentes en la muestra, a menudo mediante métodos como el del pH diferencial.

2.4 Estrategia metodológica.

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que busca que optimizar el método de extracción de las antocianinas las cuales ofrecen muchos beneficios a la salud de las personas. Por su nivel es explicativa y por su diseño es experimental, ya que en ella se manipula la variable independiente que es el grado de maduración del arándano. La población del estudio incluye la producción total de arándanos en la región Ica; mientras que la muestra está representada por 10 Kg de esta fruta, la cual fue seleccionada, lavada, una parte fue secada y pulverizada para realizar los ensayos proximales y otra parte en estado fresco se empleó para los ensayos correspondientes de extracción y caracterización de la antocianina. A partir de estos ensayos se seleccionaron los datos y se procedió al tratamiento de datos.

Las técnicas empleadas fueron las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente para ello se seleccionaron, tabularon, interpretaron y discutieron.

2.5. Procedimiento experimental.

2.5.1. Recolección de muestras.

Las muestras de arándanos fueron recolectadas en el fundo “Las Mercedes” perteneciente a la Agroindustrial Drokasa, localizado en el distrito de La Tinguiña en La provincia de Ica. La recolección de la fruta se hizo manualmente, empleando para ello la técnica habitual que consiste en usar los dedos pulgar e índice para sujetar el fruto y darle un ligero giro hasta que se desprenda del pedicelo, evitando apretar la fruta con demasiada fuerza para no desgarrar la piel ni retirar la "pruina" (la capa protectora natural blanca, cerosa), la recolección se hizo sin emplear guantes para evitar precisamente la pruina del fruto. Para la recolección se llevó al campo un cesto de plástico enganchado a la cintura para tener las manos libres y así cosechar más rápido y para minimizar el manejo y los daños. La calidad de la fruta se seleccionó visualmente teniendo en cuenta el color que debe ser morado en su totalidad descartando la fruta pinta o dañada. La bandeja empleada no se llenó demasiado para evitar daños por acumulación de peso.

Durante la recolección de las muestras se tuvo en cuenta que la temperatura ambiental influye mucho durante la cosecha del arándano, ya que afecta tanto la calidad y el momento de la maduración de la fruta como su posterior conservación postcosecha. La temperatura ambiente durante la recolección se consideró mucho ya que si esta supera los 22°C se acelera la respiración del fruto y con ello la producción de etileno lo que hace que la maduración sea mucho más rápida disminuyendo la firmeza de la pulpa, la fruta se arruga y el sabor de esta se distorsiona, es decir, el calor excesivo durante y después de la cosecha acelera el deterioro y reduce la vida útil de la fruta. Así mismo se tuvo cuidado de que sobre la fruta no haya gotas de rocío o humedad ya que ello puede favorecer el desarrollo de hongos y enfermedades fúngicas.

Después de la cosecha se procedió a colocar inmediatamente los arándanos en un cooler en el cual en la parte de abajo se colocó hielo y sobre él, una rejilla para separar el arándano del hielo y poder mantenerlo a una temperatura entre +1 y +3°C hasta que se llegue al laboratorio donde se mantuvo en refrigeración a las temperaturas mencionadas.



Figura 9. Deterioro del arándano por efecto de la temperatura.



Figura 10. Técnica para recolectar arándanos.

Los cuidados que se deben de tomar al cosechar los arándanos se debe, a que esta fruta tiene posee características fisiológicas especiales, en primer lugar, hay que tener en cuenta que los arándanos presentan un comportamiento respiratorio climatérico, caracterizado por una elevada tasa respiratoria acompañada de una mayor producción de etileno que aceleran su madurez. En el caso del arándano, a diferencia de otros frutos climatéricos, como la manzana, ellos deben cosecharse casi maduros ya que sus atributos organolépticos (sabor) no mejoran después de cosecha.

Un aspecto que hay que tener en cuenta es el pequeño tamaño del arándano que se traduce en una mayor relación entre área superficial y volumen y que debido a ello son más susceptibles a la pérdida de agua (o deshidratación). La cáscara propiamente dicha del arándano es delgada y muy susceptible a daño mecánico y pérdida de agua, lo que hasta cierto punto protege el contenido de cera de la cutícula ubicada sobre la epidermis, debido a esto la mantención de esta cutícula durante la cadena productiva tiene un efecto cosmético, tanto al contribuir a la disminución de la deshidratación como al blooming de la fruta. A pesar de que los arándanos no muestran una gran producción de etileno, sin embargo, la tasa de producción de esta hormona, así como la respuesta a ella tiene relación con la variedad.



Figura 11. Variación del color conforme madura el arándano.

La extracción de antocianinas a partir de los arándanos depende en mucho de la calidad de la fruta, la cual está definida por una serie de factores que podemos agrupar en calidad visible, calidad organoléptica y calidad nutritiva. Cuando se habla de la calidad visible se refiere a la apariencia de la fruta, la cual en arándanos se define como:

1. Un fruto de color azul uniforme,
2. Presencia de cera en la superficie de la fruta (conocida como bloom) que el consumidor relaciona a una fruta fresca,
3. Ausencia de defectos como daño mecánico y pudriciones,
4. Forma y tamaño de la fruta, y
5. Fruta con firmeza adecuada.

Desde el punto de vista organoléptico la calidad está determinada por un contenido adecuado de azúcares, ácidos y compuestos volátiles responsables del aroma característico de la fruta. En ese sentido, todas las operaciones de precosecha y postcosecha deben ir orientadas a maximizar la llegada de un producto de calidad hasta el consumidor. En la industria normalmente se usan los índices de calidad de la fruta fresca son: el color, tamaño, forma, ausencia de defectos, firmeza y sabor.

El primer factor por considerar es la selección del momento de cosecha adecuado, el cual para arándanos está definido por el color de la fruta. A pesar de su característica climática, los arándanos deben tener un desarrollo de color azul uniforme para obtener una fruta de buena calidad. Si se cosechan arándanos de color rojo, si bien mantienen una mayor firmeza y desarrollarán un color azul posterior a cosecha, tendrán calidad organoléptica inferior a un fruto cosechado con un color apropiado.

Durante la cosecha del arándano se deben tomar todas las precauciones para disminuir daños por golpe y exposición a altas temperaturas. Evitar la excesiva manipulación de la fruta ya que ello contribuirá a causar daño y remover la cera de la piel del arándano. Así también se debe evitar el sobrellenado de los contenedores de cosecha, para no generar daño por compresión que causa un efecto directo sobre la fruta y por otro lado dificultará su posterior enfriamiento.

Para determinar la concentración de caroteno en el arándano durante el proceso de maduración, se escogieron muestras de cuatro coloraciones diferentes, que fueron las que se muestran en la figura.



Figura 12. Colores de ensayo del arándano.

Análisis porcentual del arándano.

Para determinar la composición química del arándano se procedió realizar los respectivos ensayos para determinar la composición química proximal, que involucra los siguientes análisis porcentaje de fibras, de grasas, de humedad, de cenizas, de proteínas y de carbohidratos, empleando para ello los métodos dados por la AOAC en el año 1995, para vegetales y productos vegetales.

Determinación de cenizas totales.

Por calcinación a 600°C durante 6 horas, se trató 2 g de muestra seca y desengrasada en un crisol con tapa. Las cenizas se calculan con la fórmula:

$$\%C = (\text{Peso de la ceniza} / \text{Peso de la muestra}) \times 100$$



Figura 13. Horno de mufla eléctrica para determinar cenizas.

Determinación de Humedad: método de destilación azeotrópica.

10 g de muestra se pone en un matraz con 100mL de tolueno el cual forma azeótropo con el agua, y luego se separan dando directamente el volumen de agua que tiene la muestra y el porcentaje de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%H = (\text{Peso de agua colectada} / \text{Peso de la muestra}) \times 100$$

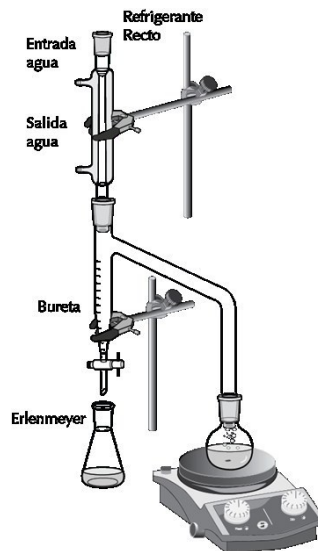


Figura 14. Equipo de destilación azeotrópica.

Determinación de Grasas. Método Soxhlet.

Con 10 g. de muestra seca y se elabora un cartucho que se pone en la cámara de extracción del aparato Soxhlet. La extracción se hizo con éter de petróleo. Se enfria en un desecador y se pesa. El porcentaje de grasa se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$\%G = (\text{Peso de la grasa} / \text{Peso de la muestra}) \times 100$$



Figura 15. Aparato Soxhlet.

Determinación de Proteínas.

Se empleó el equipo Kjeldahl, se pone 0,3g de muestra con 1g de catalizador y 3mL de ácido sulfúrico para realizar la digestión, luego se procede con la destilación destructiva empleando hidróxido de sodio y finalmente se titula con ácido clorhídrico 0,1 N. El porcentaje de proteínas se calcula de la siguiente manera:

$$\%P = [(Gasto \times N \times Meq. N_2 \times 6,25) / \text{Peso de la muestra}] \times 100$$

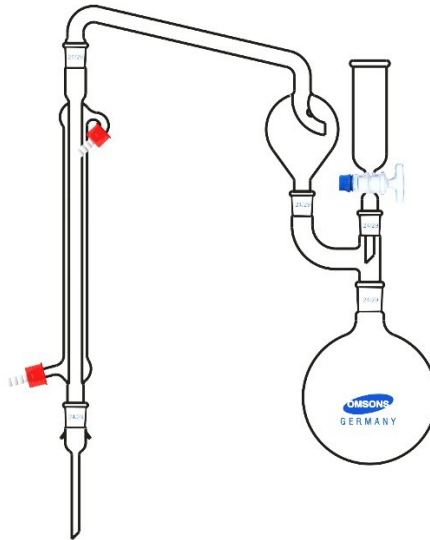


Figura 16. Esquema del equipo para determinar proteínas

Determinación en Fibra bruta.

Se trata la muestra sin grasa con ácido sulfúrico al 1,25% en caliente y luego con NaOH de igual concentración, también en caliente se lava el residuo, se seca, se calcina a 600°C y el residuo se pesa y se calcula el porcentaje de fibra:

$$\%F = [(P_1 - P_2) / \text{Peso de la muestra}] \times 100$$



Figura 17. Separación del hidróxido del residuo por filtración.

Determinación de Carbohidratos.

Los carbohidratos se determinan por diferencia, sumando las determinaciones anteriores y restándolas de 100.

$$\%Carb. = 100 - (\%C + \%P + \%F + \%H + \%G)$$

Ensayos fisicoquímicos del arándano

Determinación de la acidez titulable (Norma AOAC 1990).

Material y equipo:

- Solución valorada de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N.
- Solución de fenolftaleína al 1%, en etanol al 80%.
- Bureta.
- Pipetas volumétricas 10mL.
- Erlenmeyer de 100mL - Extractor de jugo.

Procedimiento experimental:

1. La muestra de arándanos se lava con agua corriente, se enjuaga con agua destilada y seca con papel toalla.
2. Se colocan los frutos en el extractor para extraer el jugo (se colocó 20 g de arándano partidos por la mitad)
3. El jugo se recibe en un vaso de precipitados.
5. Se transfirió con ayuda de una pipeta de 10mL a un matraz Erlenmeyer de 100mL.
6. Se diluye el jugo con 50mL de agua desionizada.
7. Se agregan 2 ó 3 gotas de fenolftaleína en solución alcohólica.
8. Titular con la solución de NaOH 0,1N hasta obtener un color rosado que permanezca 30 segundos aproximadamente y anotar el gasto de hidróxido de sodio empleado.
9. Realizar por lo menos dos determinaciones de la misma muestra.

Cálculo de los resultados:

$$\text{Acidez titulable} = [(100 \times N \times V1) / V_0] \times F$$

Donde:

V_0 = Volumen de la muestra en mL

$V1$ = Volumen de la solución de NaOH 0,1 gastado en la titulación.

N = Normalidad de la solución de NaOH 0,1N

F = Factor del ácido (ácido cítrico = 0,064) Determinación del pH.

Por el método del pH-metro digital, el cual una vez calibrado con soluciones buffer de pH 4,0, pH 7,0 y pH 10,0, se introduce en la muestra (en el jugo extraído de arándano) que está a 25°C y se hace la lectura directamente (Norma AOAC 1990).

Determinación de sólidos solubles.

Se determinó empleando para ello el refractómetro ABBe de mesa en cuyo prisma se dejó caer una gota del extracto de arándano obtenido, se hizo luego la lectura correspondiente de acuerdo con la norma AOAC 1990.

Ensayos para la extracción de antocianinas.

La extracción de las antocianinas se hizo con cada una de las muestras de determinado grado de maduración por separado, pero siguiendo el mismo procedimiento. Las etapas desarrolladas fueron las siguientes:

Selección.

Durante la recolección del arándano en el campo de cultivo se hizo una selección inicial de acuerdo con las técnicas de recolección y luego en el laboratorio se volvió a hacer otra selección para retirar aquellos arándanos que presentaran magulladuras o deterioro en la cáscara. Ya en el laboratorio no se tuvo en cuenta la pérdida parcial o total de la capa cerosa de color blanco que se encuentra cubriendo la cáscara ya que ella durante el lavado se elimina.

Lavado

Luego de la selección se procedió lavar la fruta con agua fría a 10°C en un recipiente de manera rápida ayudando con las manos para crear turbulencia y de esa manera sacar la suciedad pegada a la cáscara sin frotarla directamente, después del lavado se enjuagó de la misma manera con agua de caño y finalmente con agua destilada a la misma temperatura.

Escurrido.

Luego se escurrió el agua y se secó con ayuda de papel toalla, para eliminar rápidamente el agua residual y volver a la cadena de frío para conservar el arándano.

Trozado

La fruta limpia se trozó en pequeños trocitos con el fin de aumentar al máximo la superficie de contacto con el solvente a emplear que es el metanol con pequeñas dosis de ácido clorhídrico. El trozado tiene como finalidad no pulverizar el arándano y poder separar el extracto líquido del material sólido.

Pesado.

Del material trozado se pesó la cantidad necesaria para cada ensayo de extracción las cuales fueron: 20, 30 y 40g

Acondicionamiento para la extracción.

Con las porciones pesadas se trabajó agregando a cada uno de ellos un volumen de 100mL de solvente que fue el metanol al cual se le agregó HCl para lograr pH ácidos entre pH 1,5 y pH 5.

Extracción.

Las muestras sólidas debidamente pesadas se colocan en un vaso de precipitados de 250 mL y se agrega los 100mL de metanol ácido primeramente se deja en reposo durante 12 horas y luego se somete a agitación a una velocidad de 300rpm, manteniéndolo así durante 4 horas.

Filtración.

Una vez concluida la extracción, se procede a la separación del material sólido mediante filtración. Esta operación se hace a temperatura ambiente que fue de 18°C en el periodo de trabajo. Terminada la filtración se dejó escurrir durante una media hora para que caiga todo el extracto, que es la parte que contiene disueltas las antocianinas.

Concentración.

Luego de la filtración el extracto de antocianinas se concentra hasta un 50% a una temperatura de 32°C empleando para ello el rotavapor.

Determinación de antocianinas totales.

La concentración de antocianina se determinó por el método de pH-diferencial (Giusti y Wrolstad, 2001). Para ello, una alícuota de extracto de antocianina se mezcló con tampón a pH 1,0 de cloruro de potasio 0,025 M (ajustado con ácido clorhídrico) y otra con tampón a pH 4,5 de acetato de sodio 0,4 M (ajustado con ácido acético). La diferencia en la absorbancia a la longitud de onda de máxima absorción (510 nm) es proporcional al contenido de antocianinas (Wrolstad, 1993). Posteriormente y con el propósito de efectuar la corrección de la medida debida a la presencia de compuestos degradados o sustancias interferentes, se midió la absorbancia a 700 nm. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro (Shimadzu UV-VISIBLE, modelo UV-1603, Japón), contra un blanco de agua ultrapura. La concentración de las antocianinas se expresó como mg cianidina-3-glucósido/100mL de extracto de acuerdo con la expresión siguiente (Wrolstad *et al.*, 2005) (Ecuaciones 1 y 2):

$$\Delta A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}=4.5} \quad \text{Ecuación 1 AT}$$

$$(\text{mg/L}) = (\Delta A \text{ PM FD } 1000) / \epsilon \text{ l} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

AT: Antocianinas totales

ΔA : Cambio en la absorbancia

PM: Masa molecular para cianidina-3-glucósido, 449,2 g/mol

FD: Factor de dilución

ϵ : Coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido, 26900 l:

Longitud de paso de celda, 1 cm

1000: factor de conversión de gramos a miligramos

II. RESULTADOS

3.1.

**Del
análisis
de la
semilla**

**de
algodón**

. Tabla

3

Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 01)

Tipo de muestra: verde	
Componente	Concentración, %
Humedad	86,43
Proteínas	0,96
Fibra bruta	2,70
Grasa total	0,33
Cenizas	0,20
Carbohidratos	11,07

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3 muestra los resultados del análisis proximal del arándano muestra 01, que corresponde al arándano verde, en la cual observamos que posee un alto contenido de agua (86,43%), tiene además 11,07% de carbohidratos, 0,96% de proteínas, 2,70% de fibra bruta y cantidades más pequeñas de grasas y cenizas.

Tabla

4

Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 01)

Tipo de muestra: verde	
Ensayo realizado	Valor obtenido
Sólidos solubles (°Brix)	4,19
pH	1,05
Acidez titulable	3,91
Índice de madurez	1,07

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 4 muestra los resultados del análisis fisicoquímico del arándano muestra 01, que corresponde al arándano verde, en la cual observamos que posee 4,19% de sólidos solubles, un pH de 1,5, su acidez titulable es de 3,91 y su índice de madurez de 1,07.

Tabla

5

Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 02)

Tipo de muestra: Amarillo-rojiza	
Componente	Concentración, %
Humedad	85,11
Proteínas	1,03
Fibra bruta	2,75
Grasa total	0,34
Cenizas	0,22
Carbohidratos	12,48

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 5 muestra los resultados del análisis proximal del arándano muestra 02, que corresponde al arándano en maduración con un color amarillo-rojizo, en la cual observamos que posee un alto contenido de agua (85,11%), tiene además 12,48% de carbohidratos, 1,03% de proteínas, 2,75% de fibra bruta y cantidades más pequeñas de grasas y cenizas.

Tabla

6

Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 02)

Tipo de muestra: Amarillo-rojiza	
Ensayo realizado	Valor obtenido
Sólidos solubles (°Brix)	7,94
pH	1,9
Acidez titulable	3,33
Índice de madurez	2,39

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 6 muestra los resultados del análisis fisicoquímico del arándano muestra 02, que corresponde al arándano amarillo-rojizo, en la cual observamos que posee 7,94% de sólidos solubles, un pH de 1,9, su acidez titulable es de 3,33 y su índice de madurez de 2,39.

Tabla

7

Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 03)

Tipo de muestra: Rojo-morado	
Componente	Concentración, %
Humedad	82,75
Proteínas	1,15
Fibra bruta	2,86
Grasa total	0,34
Cenizas	0,22
Carbohidratos	12,92

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 7 muestra los resultados del análisis proximal del arándano muestra 03, que corresponde al arándano en maduración con un color rojo - morado, en la cual observamos que posee un alto contenido de agua (82,75%), tiene además 12,92% de carbohidratos,

1,15% de proteínas, 2,86% de fibra bruta y cantidades más pequeñas de grasas y cenizas.

Tabla

8

Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 03)

Tipo de muestra: Rojo - morado	
Ensayo realizado	Valor obtenido
Sólidos solubles (°Brix)	10,31
pH	2,4
Acidez titulable	2,69
Índice de madurez	3,83

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 8 muestra los resultados del análisis fisicoquímico del arándano muestra 03, que corresponde al arándano rojo-morado, en la cual observamos que posee 10,31% de sólidos solubles, un pH de 2,4 su acidez titulable es de 2,69 y su índice de madurez de 3,83.

Tabla

9

Resultados del análisis proximal del arándano (muestra 04)

Tipo de muestra: Morado- negruzco	
Componente	Concentración, %
Humedad	79,18
Proteínas	1,27
Fibra bruta	2,95
Grasa total	0,35
Cenizas	0,22
Carbohidratos	14,65

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 9 muestra los resultados del análisis proximal del arándano muestra 04, que corresponde al arándano en maduración con un color morado-negruzco, en la cual observamos que posee un alto contenido de agua (79,18%), tiene además 14,65% de carbohidratos, 1,27% de proteínas, 2,95% de fibra bruta y cantidades más pequeñas de grasas y cenizas.

Tabla

10

Resultados del análisis fisicoquímico del arándano (muestra 04)

Tipo de muestra: Morado – negruzco	
Ensayo realizado	Valor obtenido
Sólidos solubles (°Brix)	13,76
pH	3,2
Acidez titulable	0,82
Índice de madurez	16,78

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 10 muestra los resultados del análisis fisicoquímico del arándano muestra 04, que corresponde al arándano morado-negruzco, en la cual observamos que posee 13,76% de sólidos solubles, un pH de 3,2 su acidez titulable es de 0,82 y su índice de madurez de 16,78.

Tabla

11

Resultados de la extracción de antocianinas a pH 1,7

Muestra N°	Peso de la muestra, g	Resultado, mg/100g
01 (verde)	100	0,00
02 (amarillo-rojizo)	100	4,18
03 (rojo-morado)	100	17,64
04 (Morado-negruzco)	100	48,59

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 11 muestra los resultados de la extracción de antocianinas con una solución de metanol a la cual se ha agregado ácido clorhídrico hasta un pH 1,7, como se observa el arándano de la muestra 01 de color verde, no posee antocianinas, la muestra 02 contiene 4,18mg/100g, la muestra 03 contiene 17,64mg/100g y la muestra 04 posee 48,59mg/100g.

12

Resultados de la extracción de antocianinas a pH 3,1

Muestra N°	Peso de la muestra, g	Resultado, mg/100g
01 (verde)	100	0,00
02 (amarillo-rojizo)	100	7,41
03 (rojo-morado)	100	34,13
04 (Morado-negruzco)	100	82,25

Fuente: Datos experimentales.

Tabla

La tabla 12 muestra los resultados de la extracción de antocianinas con una solución de metanol a la cual se ha agregado ácido clorhídrico hasta un pH 3,1 como se observa el arándano de la muestra 01 de color verde, no posee antocianinas, la muestra 02 contiene 7,41mg/100g, la muestra 03 contiene 34,13mg/100g y la muestra 04 posee 82,25mg/100g.

Tabla 1

3

Resultados de la extracción de antocianinas a pH 4,0

Muestra N°	Peso de la muestra, g	Resultado, mg/100g
01 (verde)	100	0,00
02 (amarillo-rojizo)	100	11,22
03 (rojo-morado)	100	56,38
04 (Morado-negruzco)	100	107,63

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 13 muestra los resultados de la extracción de antocianinas con una solución de metanol a la cual se ha agregado ácido clorhídrico hasta un pH 4,0 como se observa el arándano de la muestra 01 de color verde, no posee antocianinas, la muestra 02 contiene 11,22mg/100g, la muestra 03 contiene 56,38mg/100g y la muestra 04 posee 107,63mg/100g.

4

Resultados de la extracción de antocianinas a pH 5,2

Muestra N°	Peso de la muestra, g	Resultado, mg/100g
01 (verde)	100	0,00
02 (amarillo-rojizo)	100	16,57
03 (rojo-morado)	100	81,43
04 (Morado-negruzco)	100	159,32

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 14 muestra los resultados de la extracción de antocianinas con una solución de metanol a la cual se ha agregado ácido clorhídrico hasta un pH 5,2 como se observa el arándano de la muestra 01 de color verde, no posee antocianinas, la muestra 02 contiene

Tabla 1

16,57mg/100g, la muestra 03 contiene 81,43mg/100g y la muestra 04 posee 159,32mg/100g.

5

Resultados de la extracción de antocianinas a pH 6,1

Muestra N°	Peso de la muestra, g	Resultado, mg/100g
01 (verde)	100	0,00
02 (amarillo-rojizo)	100	14,21
03 (rojo-morado)	100	69,36
04 (Morado-negruzco)	100	141,62

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 15 muestra los resultados de la extracción de antocianinas con una solución de metanol a la cual se ha agregado ácido clorhídrico hasta un pH 6,1 como se observa el arándano de la muestra 01 de color verde, no posee antocianinas, la muestra 02 contiene 14,21mg/100g, la muestra 03 contiene 69,36mg/100g y la muestra 04 posee 141,62mg/100g.

Tabla

16

Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 01)

Tipo de muestra: verde	
pH	Antocianinas, mg/100g
1,7	0,00
3,1	0,00
4,0	0,00
5,2	0,00
6,1	0,00

Fuente: Datos de las tablas 9 - 13.

La tabla 16 muestra los resultados de los datos obtenidos en la extracción de las antocianinas en función al pH de la solución metanol-ácido clorhídrico. Como se observa el arándano verde no posee antocianinas en su cáscara y pulpa, debido a ello los resultados de todos los ensayos a diferente pH salen negativos.

17

Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 02)

Tipo de muestra: Amarillo-rojiza	
pH	Antocianinas, mg/100g
1,7	4,18
3,1	7,41
4,0	11,22
5,2	16,57
6,1	14,21

Fuente: Datos de las tablas 9 - 13.

Tabla

La tabla 17 muestra los resultados de los datos obtenidos en la extracción de las antocianinas en función al pH de la solución metanol-ácido clorhídrico. Como se observa el arándano de la muestra 02 posee un bajo contenido de antocianinas en su cáscara y pulpa y los resultados indican que a pH 1,7 se extrae 4,18mg/100g de antocianinas, a pH 3,1 se extrae 7,41mg/100g, a pH 4,0 se extrae 11,22mg/100g, a pH 5,2 se extrae 16,57mg/100g y a pH 6,1 se extrae 14,21mg/100g de antocianinas lo que indica que este pH es no adecuado para la extracción del pigmento.

18

Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 03)

Tipo de muestra: Rojo-morado	
pH	Antocianinas, mg/100g
1,7	17,64
3,1	34,13
4,0	56,38
5,2	81,43
6,1	69,36

Fuente: Datos de las tablas 9 - 13.

La tabla 18 muestra los resultados de los datos obtenidos en la extracción de las antocianinas en función al pH de la solución metanol-ácido clorhídrico. Como se observa el arándano de la muestra 03 posee un regular contenido de antocianinas en su cáscara y pulpa y los resultados indican que a pH 1,7 se extrae 17,64mg/100g de antocianinas, a pH 3,1 se extrae 34,13mg/100g, a pH 4,0 se extrae 56,38mg/100g y a pH 5,2 se extrae 81,43mg/100g y a pH 6,1 se extrae 69,36mg/100g de antocianinas lo que indica que este pH es no adecuado para la extracción del pigmento.

Tabla

19

Variación del PH y concentración de antocianinas (muestra 04)

Tipo de muestra: Morado-negrucza	
pH	Antocianinas, mg/100g
1,7	48,59
3,1	82,25
4,0	107,63
5,2	159,32
6,1	141,62

Fuente: Datos de las tablas 9 - 13.

La tabla 19 muestra los resultados de los datos obtenidos en la extracción de las antocianinas en función al pH de la solución metanol-ácido clorhídrico. Como se observa el arándano de la muestra 04 posee un regular contenido de antocianinas en su cáscara y pulpa y los resultados indican que a pH 1,7 se extrae 48,59mg/100g de antocianinas, a pH 3,1 se extrae 82,25mg/100g, a pH 4,0 se extrae 107,63mg/100g y a pH 5,2 se extrae 159,32mg/100g y a pH 6,1 se extrae 141,62mg/100g de antocianinas lo que indica que este pH es no adecuado para la extracción del pigmento.

Tabla

20

Grado de madurez del arándano y concentración de antocianinas

Grado de madurez	Color	Antocianinas, mg/100g
	Verde	0,00
	Amarillorajizo	16,57
	Rojo morado	81,43
	Moradonegruzco	159,32

Fuente: Datos de las tablas 9 - 13.

Tabla

La tabla 20 muestra los resultados comparativos entre el grado de madurez del arándano y la concentración de antocianinas en el fruto, tomados a un pH 5,2 en el cual según los datos reportados se ha obtenido un mejor resultado en antocianinas, como se puede ver conforme madura el fruto es mayor la concentración de antocianinas en la cáscara y pulpa del fruto que en el caso de la muestra ensayada varia desde 16,57mg/100g cuando empieza a madurar hasta 159,32mg/100g cuando alcanza su máximo grado de madurez.

IV. DISCUSIÓN

El estudio desarrollado en esta tesis está ligado directamente con las antocianinas, las cuales son compuestos químicos asociados a los colores rojo, azul y violeta, presentes en la epidermis de frutos como manzana, ciruela, uva y arándano, entre otras. Estas antocianinas son altamente valoradas y muy estudiadas actualmente debido a que poseen una alta capacidad antioxidante con múltiples beneficios para la salud, por lo que conocer su concentración en el fruto es de especial relevancia para valorar la calidad de este.

La finalidad de esta tesis fue establecer la relación entre la madurez del arándano y la concentración de antocianinas en este, lo cual experimentalmente se ha podido constatar ya que dicha relación es significativa al punto que el color está considerado como uno de los parámetros que permiten evaluar la madurez del arándano y este color morado intenso es proporcionado por las antocianinas que están presentes en sus tejidos y que son compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes.

Nuestra investigación con datos reportados en las tablas ha demostrado que la madurez del fruto influye en el contenido de antocianinas presentes, siendo la concentración de estas es mayor cuando más maduro está el arándano, llegando en nuestro caso a una concentración de 159,32mg/100g de fruto.

Adicionalmente se ha investigado en torno al solvente y al pH que este debe tener para lograr un máximo de extracción, empleándose metanol y ácido clorhídrico para ello. Mediante el uso de este ácido se fue modificando el pH, hasta alcanzar un valor adecuado que permitió obtener máximos resultados no solo con la fruta de maduración óptima, sino también con las muestras de grado de maduración menor. Dicho pH fue de 5,2, el cual estabiliza el color morado, lo que es necesario para determinar su concentración con el espectrofotómetro a una longitud de onda de 535nm.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado experimentalmente que el grado de maduración del arándano influye en el nivel de recuperación de antocianinas mediante extracción ácida en presencia de metanol, esto debido a que pruebas experimentales indican que conforme aumenta el grado de maduración del fruto es mayor la concentración de las antocianinas llegando hasta los 159,32mg de este pigmento por cada 100g de arándanos.
2. Se ha determinado que el índice de maduración óptimo para la cosecha del arándano es de 16,78 para las muestras tomadas en este estudio.
3. Según los ensayos realizados la máxima concentración de antocianinas en el arándano que puede ser extraído en un medio ácido con metanol es de 159,32mg por cada 100 g de fruto.

VI. RECOMENDACIONES

1. Durante la extracción de las antocianinas se recomienda agregar ácido clorhídrico en una mínima cantidad a fin de que el pH este en un intervalo entre 4,8 y 5,4 para estabilizar el color morado el cual se puede cuantificar a una longitud de onda de 535 nm en un espectrofotómetro UV-visible.
2. Para acidificar el solvente no se recomienda el uso de ácido sulfúrico ya que este debido a que es higroscópico, tiende a deshidratar los compuestos orgánicos, lo que puede afectar el color debido a la generación de carbón en la solución extractora.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] M. Arteaga, “Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofila en diferentes grados de madurez de mortiño (*Vaccinium floribundum*)”, Ecuador, Publicación científica, Scielo, 2014
- [2] Zapata, L.M. “Obtención de extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria” Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. R, 2014.
- [3] Cerón B. “Extracción, caracterización y estabilidad de antocianinas y otros compuestos antioxidantes obtenidos a partir de zarzamora” Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. 2009
- [4] M. Valle, et al “Evaluación de la estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de zanahoria púrpura (*Daucus carota*)” Lima, Perú. 2012
- [5] S. Sánchez, “Efecto de la temperatura y el tiempo en la cinética de degradación térmica de las antocianinas del néctar de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), Tesis, Perú, Universidad del Centro, 2018.
- [6] E. Kuskoski et al. “Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos”. Perú, Tesis, Universidad Acides Carrión, 2009.



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“INFLUENCIA DEL GRADO DE MADURACIÓN DEL ARÁNDANO EN EL NIVEL DE RECUPERACIÓN DE ANTOCIANINAS MEDIANTE EXTRACCIÓN ÁCIDA EN PRESENCIA DE METANOL”

Presentado por:

Bach. BRAYAN EMERSON GARCÍA CHUQUIHUACCHA

Autor de tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 11 % (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 12 de agosto de 2026

Nº de Recibo: 20162078