



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS
RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA
BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (*ZEAMAYS L*) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA
ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieros Agroindustriales

Autores:

Marroquin Carua Brandon David
Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio

Tutor:

Trávez Castellano Ana Maricela

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Marroquin Carua Brandon David, con cédula de ciudadanía No. 1727649558 y Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio, con cédula de ciudadanía No. 1727506469, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (*Zea mays L*) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**, siendo la Ingeniera Mg. Ana Maricela Trávez Castellano, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 16 de febrero del 2024



Brandon David Marroquin Carua
C.C: 1727649558
ESTUDIANTE



Carlos Fabricio Pilataxi Pilicita
C.C: 1727506469
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MARROQUIN CARUA BRANDON DAVID**, identificado con cédula de ciudadanía **1727649558** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (ZEA MAYS L) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Febrero 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg.

Tema: **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (ZEA MAYS L) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de febrero del 2024.

Brandon David Marroquin Carua

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **PILATAXI PILICITA CARLOS FABRICIO**, identificado con cédula de ciudadanía **1727506469** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (ZEA MAYS L) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Febrero 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg.

Tema: **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (ZEA MAYS L) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de febrero del 2024.


Carlos Fabricio Pilataxi Pilicita

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

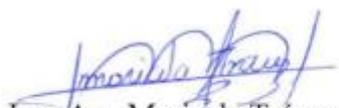
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (*Zea mays L.*) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”, de Marroquin Carua Brandon David y Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio, de la carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 16 de febrero del 2024



Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg.

C.C: 0502270437

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Marroquin Carua Brandon David y Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio con el título del Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA DE MAÍZ NEGRO (*Zea mays* L.) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 16 de febrero del 2024



Ing. Manuel Enrique Fernández Paredes, Mg.

C.C: 0501511604

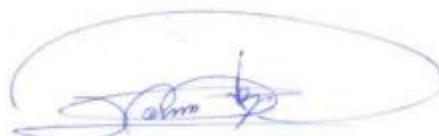
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Edwin Ramiro Cevallos Carvajal, Mg.

C.C: 0501864854

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Quim. Jaime Orlando Rojas Molina MSc.

C.C: 0502645435

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a los docentes de la carrera por impartirme sus conocimientos para mi formación académica y profesional

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mi docente tutora Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg. Por ser la orientadora y guía mediante sus conocimientos, paciencia, dedicación y esfuerzo. De la misma manera al Quim. Jaime Orlando Rojas Molina por ser un pilar fundamental y esencial para llevar a cabo este proyecto de investigación mis más sinceros agradecimientos

Brandon David Marroquin Carua

AGRADECIMIENTO

Este proyecto de investigación y el resultado de mi formación académica y profesional, se la debo a varias personas, en especial a la Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg. por ser la orientadora y guiarme mediante sus conocimientos, paciencia, dedicación y esfuerzo. Así mismo al Quim. Jaime Orlando Rojas Molina por ser un pilar fundamental en la asesoría para llevar a cabo este proyecto de investigación mis más sinceros agradecimientos

Carlos Fabricio Pilataxi Pilicita

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres José Marroquín y Manuela Carua los cuales son mi ejemplo a seguir por ser personas trabajadoras, honestas y soñadoras gracias a los valores y educación que ellos me han enseñado han Sido la base para mí formación en el ámbito profesional como al igual en el ámbito personal.

Va dedicado para mi hermano Oscar Inaquiza que en todo momento me estuvo apoyando incondicionalmente al igual que mis compañeros de la universidad con los que viví varias experiencias a lo largo de la carrera universitaria.

Brandon David Marroquin Carua

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres Carlos Pilataxi y Marisol Pilicita ya que son mi ejemplo a seguir por ser tan bondadosos, honestos y trabajadores, también dedico a mis hermanos Edith Pilataxi y en especial a Alexis Pilataxi por ser quien me anima a seguir adelante y cumplir con mis sueños. A mi sobrino Ian por llegar a mi vida a darme más motivos de sonreír a diario, además, a mi tío Galo Pilataxi que con su cariño y consejos se convirtió en un pilar fundamental en mi formación académica al igual en el ámbito personal.

Carlos Fabricio Pilataxi Pilicita

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LOS RESIDUOS
PRODUCIDOS EN LA ELABORACIÓN DE LA BEBIDA A BASE DE LA CORONTA
DE MAÍZ NEGRO (Z) EN LA PARROQUIA DE GUAYTACAMA CON LA
ASOCIACIÓN VIRGEN DEL TRÁNSITO”**

Autores:

Marroquin Carua Brandon David

Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se creó con la finalidad de aprovechar al máximo y extraer las antocianinas (pigmento natural) de los residuos (coronta) obtenidos a partir de la elaboración de bebidas energéticas a base del maíz negro (*Zea mays L.*), dicho residuo aporta varios beneficios dentro de los distintos procesos agroindustriales. Por tal motivo el objetivo principal es la obtención del colorante a partir de la coronta del maíz negro (*Zea Mays L*), mediante la metodología de extracción utilizando el rotavapor con cuatro factores. Además, se obtuvo el colorante en polvo del mismo, por secado de aspersion con dos factores. También, para la ejecución del tratamiento estadístico, experimental y procesamiento de la información, se realizó en el programa Design Expert. Por otra parte, para el diseño experimental se usará el modelo de optimización numérica mediante el diseño de superficie respuesta IV Óptimo, el cual genera una ecuación matemática que evidencia la tendencia de las condiciones del proceso.

El diseño experimental aplicado en este proyecto, cuyo fin fue la propuesta de la optimización del rendimiento de antocianinas y polifenoles nos presentó las siguientes condiciones: temperatura de 59,98°C, un tiempo de 11,64, la relación masa/disolvente de 3 y con una concentración de etanos al 94,97%, abordando los mejores resultados en la realización de la corrida con un rendimiento de antocianinas de un 41,45%, el rendimiento de polifenoles del 81,42%, además de una deseabilidad de 1.

Mientras que en las corridas para el secado del extracto de antocianinas del desecho del maíz negro los mejores datos obtenidos fueron, en condiciones de temperaturas de entrada del aire de 170 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h, abortando un rendimiento del 76.14%, un contenido de antocianinas de 4542,01 mg/1000g, un contenido de polifenoles del 99,87 mg/1000g, un porcentaje de humedad de 3,11 además, de una deseabilidad del 0,971.

El diseño materializado en este proyecto de investigación servirá como base para futuros estudios respecto a la obtención de un colorante natural, por tal motivo se puede tomar una decisión adecuada sobre la nueva muestra con lo cual se desea mejorar el rendimiento de antocianinas y polifenoles en un 75% con respecto a anteriores tesis.

Palabras claves:

Calidad, Coronta, Rotavapor, Cofactores, Temperatura, Rendimiento, Antocianina, Polifenoles, Humedad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "OBTAINING A DYE FROM THE WASTE PRODUCED IN THE ELABORATION OF THE DRINK BASED ON THE BLACK CORN CORONTA (*ZEA MAYS L*) IN THE PARISH OF GUAYTACAMA WITH THE VIRGEN DEL TRANSIT ASSOCIATION"

Author:

Marroquin Carua Brandon David

Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio

ABSTRACT

This research project was set up with the purpose of making the most of and extracting the anthocyanins (natural pigment) of the waste (coronta) obtained from the elaboration of energy drinks based on black corn (*Zea mays L.*). The so called waste provides several benefits within the different agribusiness processes. Therefore, the main objective of this study is to obtain the dye from the black corn coronta (*Zea Mays L*), throughout the extraction methodology using the rotavapor with four factors. The powder color of the mentioned product was obtained, due to spray drying with two factors. Also, the Design Expert program was carried out for the execution of statistical, experimental treatment and information processing. In addition, the numerical optimization model will be used through the surface design IV optimal for the experimental design. It will generate a mathematical equation that shows the tendency of the process conditions.

The experimental design applied in this project, which purpose was the proposal for the optimization of the performance of anthocyanins and polyphenols threw up the following conditions: Temperature of 59.98 ° C, a time of 11.64, the mass/solvent ratio of 3 3 and with an ethanol concentration at 94.97%, addressing the best results in the realization of the run with a 41.45%anthocyanines yield, the polyphenol yield of 81.42%, apart from a desirability of 1. In the runs for the drying of the anthocyanins of the waste of black corn the best data obtained were: under conditions of air inlet of 170 ° C and a feed flow rate of 500 ml/h, aborting a performance of the performance of the 76.14%, an anthocyanin content of 4542.01 mg/1000g, a polyphenols content of 99.87 mg/1000g, a moisture percentage of 3.11 including a desirability of 0.971.

The design that came up in this research project will serve as a basis for future studies about obtaining a natural dye, and thus an adequate decision can be made on the new sample with which it will be possible to improve the performance of anthocyanins and polyphenols in 75% with respect to previous thesis.

Keywords: Quality, Coronta, Rotavapor, Cofactors, Temperature, Performance, Anthocyanin, Polyphenols, Humidity.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	viii
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
<i>Brandon David Marroquin Carua</i>	xi
DEDICATORIA	xii
<i>Carlos Fabricio Pilataxi Pilicita</i>	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	2
3.1. Beneficiarios directos	2
3.2. Beneficiarios indirectos	2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	3
5. OBJETIVOS:	4
5.1. General	4
5.2. Específicos	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	4
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	6
7.1. Antecedentes	6
7.2. Fundamentación teórica	8
7.2.1. Historia del maíz negro	8

7.2.2. Clasificación taxonómica	9
7.2.3. Descripción botánica	9
7.2.3.1. Raíz.....	10
7.2.3.2. Tallo.....	10
7.2.3.3. Hojas	10
7.2.3.4. Inflorescencia masculina y femenina	10
7.2.3.5. Grano	11
7.2.3.6. Semillas	11
7.2.4. Composición química.....	11
7.2.5. Colorante	12
7.2.6. Clasificación de los colorantes	12
7.2.6.1. Colorantes naturales	13
7.2.6.2. Colorantes orgánicos	14
7.2.6.3. Colorante inorgánico	14
7.2.6.4. Colorante sintético.....	14
7.2.6.5. Colorantes azoicos.....	14
7.2.7. Problemas en la utilización de colorantes sintéticos	15
7.2.8. Colorante del maíz negro.....	15
7.2.9. Medida de color	16
7.2.10. Degradación del colorante del maíz negro	18
7.2.11. Antioxidantes de maíz negro	18
7.2.12. Beneficios	18
7.2.13. Antocianinas	19
7.2.14. Estructura de las antocianinas.....	19
7.2.15. Factores que afectan la estructura de las antocianinas	20
7.2.16. Compuestos fenólicos.....	20
7.2.17. Flavonoides.....	21

7.2.18. Acido oxálico.....	21
7.2.19. Extracción de colorantes.....	21
7.2.20. Solventes para extracción de antocianinas	22
7.2.20.1. Agua destilada	22
7.2.20.2. Etanol.....	23
7.2.20.3. Metanol.....	23
7.3. Marco conceptual	23
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS	25
8.1. Obtención de antocianinas a partir de la coronta de maíz negro. (<i>Zea mays L</i>)....	25
8.1.1. Hipótesis Nula	25
8.1.2. Hipótesis Alternativa	25
8.1.3. Validación.....	25
8.2. Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz negro (<i>Zea mays L</i>)....	25
8.2.1. Hipótesis Nula	25
8.2.2. Hipótesis Alternativa	26
8.2.3. Validación.....	26
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	26
9.1. Tipos de Investigación.....	26
9.1.1. Investigación cuantitativa	26
9.1.2. Investigación cualitativa	26
9.1.3. Investigación descriptiva	27
9.1.4. Investigación experimental:.....	27
9.2. Técnicas	27
9.2.1. Observación.....	27
9.2.2. Estudio correlacional	27
9.2.3. Estudio causal-comparativo.....	28
9.3. Materiales y Equipos	28

9.3.1. Materia prima	28
9.3.2. Materiales de laboratorio	28
9.3.3. Equipos de laboratorio.....	28
9.3.4. Reactivos	28
9.4. Metodologías utilizadas en el proyecto de investigación	29
9.4.1. Metodología para la determinación de Humedad de la coronta de maíz negro. 29	
9.4.2. Metodología para la determinación de Ceniza de la coronta de maíz negro.	30
9.4.3. Metodología para la determinación de la Densidad Aparente.....	33
9.4.4. Metodología para la determinación de la Densidad Compactada	34
9.4.5. Metodología para la determinación de Higroscopia.....	34
9.4.6. Metodología para la determinación de Solubilidad.....	34
9.4.7. Metodología para la determinación del Rendimiento.....	35
9.4.8. Metodología para la determinación del Índice de Carr	35
9.4.9. Metodología para la determinación del Índice de Hausner	35
9.4.10. Metodología de extracción de antocianinas provenientes de la coronta de maíz negro.....	36
9.4.11. Metodología para la obtención de antocianinas en polvo.....	39
9.5. Diseño Experimental	40
9.5.1. Rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.....	40
9.5.1.1. Corridas experimentales	41
9.5.1.2. Cuadro de variables	42
9.5.2. Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (<i>Zea Mays L</i>)	42
9.5.2.1. Corridas experimentales	43
Tabla 7. Corridas experimentales para la obtención de antocianinas en polvo.	43
9.5.2.2. Cuadro de variables	43
Tabla 8. Cuadro de variables para la obtención de antocianinas en polvo.	44

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
10.1. Coronta de maíz negro deshidratado	44
Tabla 9. Caracterización química del desecho del maíz deshidratado (<i>Zea mays L</i>) ...	44
10.2. Rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.....	45
Tabla 10. Matriz experimental para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.	45
10.2.1.Rendimiento de antocianina	46
Tabla 11. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de antocianina	46
10.2.2.Rendimiento de polifenoles	47
Tabla 12. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de polifenoles.....	48
10.2.3..... Optimización	49
10.3. Coronta de maíz negro acuosa.....	50
10.4.Secado por aspersión de la antocianina	51
10.4.1.Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (<i>Zea mays L</i>)	51
10.4.2.Modelo codificado para el rendimiento	52
10.4.3.Modelo codificado para el contenido de antocianinas	54
10.4.4.Modelo codificado para el contenido de polifenoles	55
10.4.5.Modelo codificado para el contenido para humedad	56
10.5.Optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.	58

10.6. Características del colorante optimizado de residuos de maíz negro (<i>Zea mays L</i>)	59
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	60
11.1. Impactos Técnicos	60
11.2. Impactos Sociales	61
11.3. Impacto económico	61
12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	61
13. CONCLUSIONES	62
13.1. RECOMENDACIONES	63
14. REFERENCIAS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz	9
Tabla 2. Composición de los granos y corontas de maíz negro en base seca (%)	11
Tabla 3. Factores para la ejecución del proyecto	40
Tabla 4. Corridas experimentales para la obtención de antocianinas	41
Tabla 5. Cuadro de variables para la obtención de antocianinas	42
Tabla 6. Factores para la ejecución del proyecto	43
Tabla 7. Corridas experimentales para la obtención de antocianinas en polvo	43
Tabla 8. Cuadro de variables para la obtención de antocianinas en polvo	44
Tabla 9. Caracterización química del desecho del maíz deshidratado (<i>Zea mays L.</i>)	44
Tabla 10. Catriz experimental para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz	45
Tabla 11. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de antocianina	46
Tabla 12. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de polifenoles	48
Tabla 13. Predicción de la optimización para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz	49
Tabla 14. Caracterización física y química del extracto acuoso de antocianina del desecho del maíz (<i>zea mays l</i>)	50

Tabla 15. Matriz experimental para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (<i>zea mays l</i>).....	51
Tabla 16. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento	52
Tabla 17. Parámetros del modelo codificado para el contenido de antocianinas (mg/1000 g)	54
Tabla 18. Parámetros del modelo codificado para el contenido de polifenoles (mg/1000 g) .	55
Tabla 19. Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad.	56
Tabla 20. Predicción de la optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.....	58
Tabla 21. Características del colorante optimizado de residuos de maíz negro (<i>Zea mays L.</i>)	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planta de maíz. (vela, 2011).....	10
Figura 2 Clasificación de los colorantes. (Quinteros, Mariano , & Lopez, 2002).....	13
Figura 3 Apariencia del maíz negro. (Choperena, 2019)	16
Figura 4 Diagrama cromático (Proyectacolor, 2011)	17
Figura 5 Estructura química del catión flavilio (Durst & Wrolstad, 2001).....	19
Figura 6 Pesado de crisoles en la balanza analítica (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	30
Figura 7 Pesado de los crisoles con sus respectivas muestras (Marroquin y Pilataxi, 2023)...	31
Figura 8 Mufla a temperatura de 550°C (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	31
Figura 9 Muestras colocadas en el desecador (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	32
Figura 10 pesaje de la ceniza obtenida de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	32
Figura 11 Pesaje de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	36
Figura 12 Muestra introducida en el mastercooker (Marroquin y Pilataxi, 2023)	37
Figura 13 Tamización de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	37
Figura 14 Introducción de la muestra en el rotavapor (Marroquin y Pilataxi, 2023).....	37
Figura 15 Muestra destilada (Marroquin y Pilataxi, 2023)	38
Figura 16. Rendimiento antocianina.....	47
Figura 17. Rendimiento de polifenoles.....	49
Figura 18. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento	54
Figura 19. Parámetros del modelo codificado para el contenido de antocianinas (mg/1000 g)	55
Figura 20. Parámetros del modelo codificado para el contenido de polifenoles (mg/1000 g) .	56

Figura 21. Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad.....	58
Figura 22. Predicción de la optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.....	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de humedad.	29
Ecuación 2. Determinación de ceniza.....	32
Ecuación 3. Determinación de la densidad aparente	33
Ecuación 4. Determinación de la densidad compactada.....	34
Ecuación 5. Determinación de higroscopia	34
Ecuación 6. Determinación de solubilidad	34
Ecuación 7. Determinación del rendimiento	35
Ecuación 8. Determinación del índice de carr	35
Ecuación 9. Determinación del índice de hausner.....	36

ÍNDICE DE FLUJOGRAMAS

Flujograma 1. Metodología de humedad	29
Flujograma 2. Determinación del porcentaje de ceniza.....	32
Flujograma 3. Obtención de antocianinas con el desecho de maíz deshidratado.	38

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: “Obtención de un colorante a partir de los residuos producidos en la elaboración de la bebida a base de tusa de Maíz Negro (*Zea mays L*) en la Parroquia de Guaytacama con la Asociación Virgen del Tránsito”.

Fecha de inicio: Octubre del 2023

Fecha de finalización: Febrero del 2024

Lugar de ejecución: Pilacoto – Guaytacama – Latacunga – Cotopaxi – zona 3 e 05D01

Provincia: Cotopaxi Zona: 3

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Carrera de Agroindustria.

Proyecto de investigación vinculado: Producción y Buenas Prácticas de Alimentos

Equipo de Trabajo

Tutor de Titulación: Mg. Través Castellano Ana Maricela Ing.

Investigador 1: Marroquin Carua Brandon David

Investigador 2: Pilataxi Pilicita Carlos Fabricio

Área de Conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción.

Línea de investigación: Desarrollo y Seguridad Alimentaria.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Optimización de Procesos Tecnológicos Agroindustriales

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el Ecuador existe una gran variedad de colorantes alimenticios y son utilizados para dar color e incluso sabor a alimentos y bebidas, además, son compuestos que modifican el color o la tonalidad original de los alimentos y que se emplean con diversos fines, entre los cuales se encuentran la búsqueda de otorgar un color mucho más atractivo o novedoso al producto.

La coronta de maíz negro (*Zea mays L.*), presenta una característica especial al pigmento que posee (entre 1,5% y 6,0%), denominado antocianina y este pertenece al grupo de los flavonoides. Además, por su contenido de antocianina y compuestos fenólicos actúa como un

antioxidante natural y un anticancerígeno, por tal motivo esta investigación se enfoca en la obtención de un colorante en función al rendimiento, además de caracterizar a la coronta de maíz negro deshidratado. Este proyecto es factible, ya que al analizar la demanda en cuenta la bebida a base de la coronta de maíz negro en la Asociación Agropecuaria Virgen del Tránsito en colorante ayudara a disminuir el tiempo de elaboración de la misma.

La obtención de antocianinas de la coronta es algo necesario por la funcionalidad de aplicación que se podría tener en la industria, hoy en día existen varias tecnologías de obtención de antocianinas entre los procesos rutinarios se encuentra la extracción con solventes (ES), que es un método convencional que genera una buena eficiencia. Sin embargo, no es selectivo y se obtiene un alto contenido de subproductos que pueden acelerar la degradación de las antocianinas. Recientemente, se han propuesto diferentes técnicas de extracción alternativas, como la extracción asistida por radiación con microondas (EAM) y el método de extracción-fermentación simultanea usando levaduras (EFS). Estos procesos permiten una extracción de los compuestos de interés con mayor eficiencia, selectividad, bajo consumo de disolventes o ausencia de ellos, y un alto nivel de automatización, cada una con sus condiciones experimentales.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1. Beneficiarios directos

El grupo que conforma la Asociación Agropecuaria Virgen del Tránsito quienes, son los proveedores de la coronta de maíz negro (*Zea mays L*), adquiriendo nuevos métodos de aprovechamiento para la materia prima a través de la presente investigación. Además, otros beneficiarios directos serán los productores de maíz negro que se encuentra en la Parroquia de Guaytacama específicamente en el barrio de Pilacoto.

3.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos de esta investigación serán las industrias biotecnológicas, alimentaria, de perfumería y cosmética. Como fuentes importantes de transformación de materias primas, estas industrias también crearán nuevas alternativas para crear productos más saludables y respetuosos con el medio ambiente gracias a sus avanzadas técnicas industriales, además, otros beneficiarios indirectos serán los estudiantes quienes adoptarán nuevos conocimientos y prácticas experimentales al realizar el presente proyecto de investigación.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

Según (Serratos, 2009) menciona que el maíz fue el alimento básico de las culturas del continente americano varios siglos antes de la invasión europea al continente. En la actualidad Perú es el mayor productor y consumidor de maíz negro y sus productos, ya que éstos se emplean desde la época colonial para producir bebidas de color morado.

En la actualidad, ya sea para la alimentación o para las actividades agroindustriales, se considera que el maíz es un producto básico a nivel mundial. Debido a su incidencia social, se considera que el maíz es uno de los productos de la industria agrícola más importantes para la economía mundial, ya que el 75% de su producción viene de familias campesinas, siendo base económica para la gran mayoría de ellas. (Paliwal, 2005)

(Zambrano Mendoza & Yanez, 2019) menciona que en el Ecuador los agricultores han distribuido a lo largo del territorio varios tipos de maíz para su cultivo, así, por ejemplo, al norte del país se consume maíz amarillo harinoso y en la parte centro maíz blanco.

El Maíz Negro presenta un especial interés debido a que dentro de su estructura existe un pigmento natural llamado cianidina-3- β glucósido, el cual pertenece al grupo de las antocianinas, pigmentos responsables de dar color a flores, frutos y vegetales.

Además, en la Parroquia de Guaytacama se le considera como el principal productor de maíz en Latacunga sin embargo en el Barrio de Pilacoto la Asociación Virgen del Transito se dedica a la producción del maíz negro (*Zea mays L*), por tal razón se tomó en cuanto al sector para llevar cabo la presente investigación por su alto índice de producción tomando a la coronta de maíz negro como materia prima primordial.

Existen diversas aplicaciones para las antocianinas del Maíz Negro en la industria alimentaria y no alimentaria, ya que proporcionan color a diversos productos como bebidas, dulces y confites, productos de panadería, mermeladas y jaleas, jarabes de frutas, sopas y saborizantes, así como también para la preparación de refrescos y coloración de jugos de frutas, vinos y vinagres. (Pérez, 2014)

En la actualidad existen diversos colorantes por tal motivo en el presente proyecto de investigación se realiza con la finalidad de aprovechar al máximo y extraer las antocianinas (pigmento natural) de los residuos (coronta) obtenidos a partir de la elaboración de bebidas

energéticas a base del maíz negro (*Zea mays L.*), dicho residuo aporta varios beneficios dentro de los distintos procesos agroindustriales. La extracción fue realizada mediante el método de Soxhlet, utilizando tres tipos de solventes (hexano, etanol y agua).

La antocianina del maíz negro representa un potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos y para la obtención de productos con valor agregado dirigidos al consumo humano. Este producto es reconocido por la Unión Europea con el Código E-163 y también con el mismo Código por la Legislación Japonesa (Sierra Exportadora, 2012).

A nivel industrial es usado como insumo para la coloración de bebidas, productos lácteos, productos de panadería, productos vegetales, conservas de pescado, grasas, aceites, mermeladas, jaleas, frutas confitadas, frutas en almíbar, jarabes de frutas, sopas, almíbar; también se usa para teñir tejidos y en la industria para teñir tejidos y en la industria de cosméticos.

5. OBJETIVOS:

5.1. General

- Obtener un colorante a partir de los residuos producidos en la elaboración de la bebida a base de la coronta de maíz negro (*Zea mays L.*) en la Parroquia de Guaytacama con la Asociación Virgen del Tránsito.

5.2. Específicos

- Caracterizar la coronta de maíz negro (*Zea mays L.*) deshidratado.
- Extraer antocianinas mediante las condiciones de temperatura, tiempo, relación masa/disolvente y concentración de etanol del desecho de la coronta de maíz negro (*Zea mays L.*).
- Evaluar las propiedades físicas y químicas de las antocianinas de la coronta del maíz negro (*Zea mays L.*).
- Elaborar un colorante en polvo utilizando el secado por aspersion (*Zea mays L.*) bajo las condiciones de velocidad de flujo de alimentación y temperatura de aire de entrada.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
<p>Objetivo 1. Caracterizar la coronta de maíz negro (<i>Zea mays L.</i>) deshidratado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidratar la coronta de maíz negro. • Determinar el porcentaje de humedad • Determinar el porcentaje de ceniza. • Determinar el contenido de antocianinas expresados como equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G). 	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción de la materia prima • Deshidratado de la muestra • Triturado de la muestra • Colocado en la estufa, mufla • Identificación de la humedad, ceniza, antocianinas y polifenoles. 	<p>Resultados obtenidos al realizar las respectivas pruebas de humedad, ceniza y antocianinas lo podemos encontrar en la tabla 9.</p>
<p>Extraer antocianinas mediante las condiciones de temperatura, tiempo, relación masa/disolvente y concentración de etanol del desecho de la coronta de maíz negro (<i>Zea mays L.</i>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidratar la coronta de maíz negro. • Triturar la coronta de maíz negro. • Homogenizar la muestra en polvo con etanol. • Extraer la antocianina de la mezcla homogenizada. • Exudar el etanol del colorante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de las disoluciones químicas. • Colocar las disoluciones a las condiciones establecidas en los factores. • Determinar la cantidad de polifenoles y la de antocianinas. 	<p>Valores obtenidos del rendimiento de polifenoles y antocianinas presente en la tabla 10.</p>

<p>Objetivo 3.</p> <p>Evaluar las propiedades físicas y químicas de las antocianinas de la coronta del maíz negro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar las Propiedades físicas y químicas del extracto acuoso y la optimización del extracto en polvo de antocianina de la coronta de maíz negro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la muestra de antocianinas obtenida en la elaboración del colorante acuoso y en la optimización del colorante en polvo. 	<p>Datos presentes en la tabla 14 acerca de la caracterización de antocianinas acuosas y los datos de la tabla 21 obtenidos de la optimización del extracto en polvo de la coronta de maíz negro.</p>
<p>Objetivo 4.</p> <p>Elaborar un colorante en polvo utilizando el secado por aspersión (<i>Zea mays L.</i>) bajo las condiciones de velocidad de flujo de alimentación y temperatura de aire de entrada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secar las disoluciones en función a los factores definidos. • Obtener el polvo optimizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción del colorante acuoso. • Se transforma un fluido en un material sólido • Atomizar en forma de gotas minúsculas en un medio de secado • Obtención del colorante en polvo. 	<p>El colorante el polvo obtenido.</p>

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Antecedentes

Mediante un proceso de investigación bibliográfica se verificaron varios estudios sobre la elaboración de colorante a base de la coronta de maíz negro, pero con diversas metodologías

como al igual que las propiedades de antocianinas que este posee, los antecedentes se encuentran relacionados con el objetivo de la investigación para definir sus propiedades físico químicas con corridas de tiempo y temperatura

Con el propósito de evitar la pérdida de antocianinas durante la producción de maíz negro (*Zea mays L.*) destinado tanto al consumo como a la extracción de estos compuestos con fines industriales, es esencial evaluar los impactos de diversos factores que inciden en la concentración final de dichos metabolitos. El objetivo de este estudio consistió en extraer antocianinas de maíz negro cultivado en Tunshi-Chimborazo, Ecuador, el cual fue sometido a distintos procedimientos de escaldado. Se utilizaron semillas de maíz negro plantadas manualmente. Las mazorcas recolectadas se sometieron a escaldado térmico (mediante inmersión en agua hirviendo, vapor de agua y exposición a microondas a 160 W) en tres ocasiones con diferentes duraciones (3, 5 y 7 minutos). Además, se incluyó un grupo de control sin tratamiento térmico. El tiempo de extracción solo tuvo un impacto limitado en la variación del contenido de antocianinas en el punto final del proceso de maceración en agua hirviendo. Los métodos de tratamiento térmico aplicados al maíz negro, como la inmersión en agua hirviendo, vapor de agua y microondas a 160 W, influyeron en el color. Específicamente, la inmersión en agua hirviendo mostró una reducción máxima del 79 % en las antocianinas derivadas del cianuro en los granos de maíz negro, y el uso de microondas demostró ser eficaz para preservar el contenido de antocianinas, especialmente durante los últimos 3 minutos a una potencia de 160 W. (Díaz, Pesántez, & Castro, 2017)

El objetivo primordial es evaluar el impacto de la nixtamalización tradicional en dichos compuestos y avanzar en la investigación de técnicas alternativas de nixtamalización con el fin de mitigar los efectos negativos en la calidad funcional del producto final. La utilización de maíz pigmentado ha experimentado un incremento debido a su mayor contenido de compuestos fenólicos, especialmente antocianinas. En el maíz pigmentado, las antocianinas no asiladas más prevalentes incluyen la antocianina 3-glucósido (70%), la pelargonidina 3-glucósido y la paeoniflorina 3-glucósido, las cuales exhiben una destacada capacidad antioxidante. No obstante, los productos derivados de procesos como la extrusión y la nixtamalización gradual pueden conservar mayores cantidades de compuestos fenólicos, antocianinas y una capacidad antioxidante más elevada, presentándose como alternativas eficaces a la nixtamalización convencional. No obstante, se requiere una investigación adicional para minimizar la pérdida de estos compuestos naturales, con el potencial de desarrollar nuevos productos nutricionales basados en maíz pigmentado. (Escalante, 2013)

Se llevó a cabo una evaluación del rendimiento de los extractos de antocianinas y flavonoles obtenidos mediante dos métodos distintos: la extracción por solventes Soxhlet y la extracción asistida por microondas, utilizando etanol puro como único solvente, bajo condiciones operativas específicas. Los resultados indicaron que tanto la extracción Soxhlet como la extracción asistida por microondas, cuando se aplican a la materia prima previamente liofilizada, conducen a una mayor concentración de antocianinas. Además, ambas metodologías favorecen el contenido de flavonoles.. (Herrera Quiñones, 2016)

7.2. Fundamentación teórica.

7.2.1. Historia del maíz negro

El autor (Torres Gómez, 2018) manifiesta que el maíz es un cereal oriundo del Perú y México, cuyas culturas precolombinas lo consideraron sagrado, el maíz negro es una mutación un cambio genético del maíz común que se produjo hace miles de años, crece de ese color y sabor solo en ese país, florece cultivado o en estado silvestre en diversos lugares de América. Es una variedad de maíz, originaria de los Andes Peruanos, única en el mundo por poseer la coronta y los granos de un color morado característico, debido al pigmento que posee denominado Antocianina, tiene tallo macizo y erguido que puede alcanzar alturas entre 60 cm, puede medir de 3 o 4 metros según la variedad, en la punta se observa una floración en forma de penacho o plumero, las espigas crecen en la axilas de las grandes y alargadas hojas, ellas se convertirán después en la mazorca llena de granos formados en hileras. La coronta del maíz negro es la que tiene el concentrado de una sustancia colorante.

El *Zea mays* L. (maíz negro) florece, cultivado en estado silvestre, en diversos lugares de América. El maíz negro se cultivaba en el Perú en épocas prehispánicas y era conocido como oro, sara o kulli sara (Ortiz, 2013).

El *Zea mays* L. representa una variedad genética de maíz originaria de Perú. En una mazorca típica, compuesta por tusa y grano, aproximadamente el 85% está conformado por grano, mientras que el 15% restante corresponde a la coronta o tusa. Este fruto alberga el pigmento conocido como antocianina, presente en mayores cantidades en la coronta y en proporciones más reducidas en el pericarpio o cáscara del grano. El maíz desempeña un papel fundamental en la dieta peruana, siendo un componente recurrente en la preparación de bebidas, colorantes y harinas. (Otiano, 2012)

7.2.2. Clasificación taxonómica

En la presente tabla se muestra la clasificación taxonómica del maíz.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz

Reino:	Vegetal
División:	Angiosperma
Clase:	Monocotyledoneae
Orden:	Cereales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Mays</i>
Nombre científico:	<i>Zea mays</i> L.

Fuente: Terranova, 1995

7.2.3. Descripción botánica

La coronta y los granos exhiben un distintivo color negro, atribuido al pigmento denominado Antocianina. La planta presenta un tallo sólido y erguido con una altura que oscila entre 60 cm y, en algunas variedades, puede llegar a medir entre 3 o 4 metros. En la parte superior, se aprecia una floración que adopta la forma de penacho o plumero. Las espigas se desarrollan en las axilas de las hojas, que son grandes y alargadas, y estas espigas posteriormente se transformarán en las mazorcas llenas de granos dispuestos en hileras. (Torres Gómez, 2018)

En la presente figura se puede visualizar la morfología de la planta de maíz.

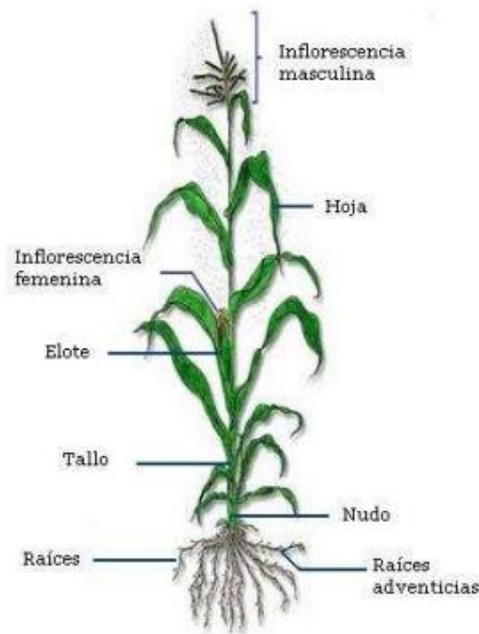


Figura 1 Planta de maíz. (Vela, 2011)

7.2.3.1. Raíz

La raíz primaria se forma durante la germinación y tiene una duración corta. En la planta adulta, todo el sistema radicular es de carácter adventicio y emerge desde la corona, con el ápice en el parte inferior conformado por 10 entrenudos muy cortos. El tamaño y la configuración del sistema radicular experimentan cambios significativos en función del método de propagación y las condiciones ambientales. (Terranova, 1995).

7.2.3.2. Tallo

En el maíz, el tallo se desarrolla de manera recta y puede alcanzar una longitud de hasta 4 metros. Está compuesto por entrenudos, carece de ramificaciones y su caña se caracteriza por tener una médula esponjosa. (Guerrero Rojas, 2023)

7.2.3.3. Hojas

El maíz presenta hojas de gran tamaño, con bordes ásperos que muestran venas prominentes. Estas hojas son lanceoladas, largas y envuelven el tallo, con vellosidades en el haz. En los bordes perimetrales de las hojas, hay extremos afilados y cortantes. (Guerrero Rojas, 2023)

7.2.3.4. Inflorescencia masculina y femenina

La inflorescencia masculina del maíz se presenta en forma de panícula, conocida coloquialmente como espigón o penacho, con una tonalidad amarilla intensa y contiene una

cantidad significativamente alta de polen, estimada entre 20 a 25 millones de granos. En cada florecilla que integra la panícula, se observan tres estambres donde se produce el polen. Por otro lado, la inflorescencia femenina muestra un menor contenido de granos de polen, aproximadamente entre 800 y 1000 granos, y se forma en estructuras vegetativas llamadas espádices, las cuales se disponen lateralmente. (Mahikari, 2020)

7.2.3.5. Grano

El grano de maíz presenta una estructura en capas. En primer lugar, está rodeado por el pericarpio, seguido de una capa llamada aleurona. Estas capas tienen la función de proteger el endospermo. Además, la capa de aleurona contiene proteínas que contribuyen a la coloración del grano. En el interior del grano se encuentra el endospermo, que constituye la mayor parte de la semilla en términos de volumen y peso. Junto con el endospermo, también se ubica el embrión. (Zambrano Mendoza & Velásquez Carrera, 2021)

7.2.3.6. Semillas

Las semillas del maíz se encuentran alojadas dentro de un tipo de fruto llamado cariósipide. La capa externa que envuelve este fruto corresponde al pericarpio, situado sobre la testa de la semilla. Internamente, el pericarpio está formado por el endospermo y el embrión, compuesto por la coleriza, la radícula, la plúmula o hojas embrionarias, el coleóptilo y el escutelo o cotiledón. Los ejemplares típicos de esta variedad se localizan en altitudes que van desde los 1200 hasta los 2580 metros sobre el nivel del mar. Sus granos son redondos y el pericarpio presenta tonalidades rojas o moradas, estando agrupados de manera estrecha para crear la apariencia de un racimo de uvas. Las mazorcas tienen un tamaño medio y una forma que varía de cónica a oval, con entre ocho y catorce hileras dispuestas en espiral. La coloración rojiza a púrpura abarca toda la tusa, incluyendo los lemas, las glumas y la médula. (Gavilanes, 2010)

7.2.4. Composición química

En la Tabla 2 podemos observar la composición de los granos y de las corontas del maíz negro.

Tabla 2. *Composición de los granos y corontas de maíz negro en base seca (%)*

Componentes	Granos (%)	Corontas (%)
Carbohidratos	71,30	54,68
Proteína	8,41	1,48
Grasa	6,65	0,99

Fibra	3,35	40,71
Ceniza	1,55	2,14

Fuente: adaptado de Jacho, 2009; LSAIA, 2011

7.2.5. Colorante

Los colorantes o tintes naturales son aquellas sustancias coloreadas extraídas de plantas y animales aptas para añadir o devolver un color. Los colorantes naturales se obtienen por la extracción de materia de origen vegetal o animal o son colorantes inorgánicos de procedencia mineral. Por ser productos de extracción en general no son productos puros, sino que se obtienen mezclados con otros componentes del material de partida que pueden ser grasas, carbohidratos o proteínas; sin embargo, en algunos casos se ha llegado al aislamiento del colorante puro. Dependiendo del colorante puede presentarse en forma hidrosoluble, oleo soluble o en ambas (Elisa, 2018)

Los colorantes naturales son considerados en general como inocuos y consecuentemente las limitaciones específicas en su utilización son menores que las que afectan a los colorantes artificiales (Proquimac, 2016)

Se les identifica por sus códigos entre el E-100 y el E-180. El número E indica que un aditivo ha sido aprobado por el Codex Alimentarius y la UE, a través del Comité Científico o la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria que tiene que evaluar si el aditivo es seguro; además sirve para etiquetar de manera práctica la información del producto. (Hipatia, 2013)

7.2.6. Clasificación de los colorantes

Existen diversas maneras de clasificar a los colorantes, con base en su naturaleza u origen (naturales o artificiales), por su grupo cromóforo (radical que le confiere un determinado color), como se puede ver en la Figura 2 (Quinteros et al., 2002).

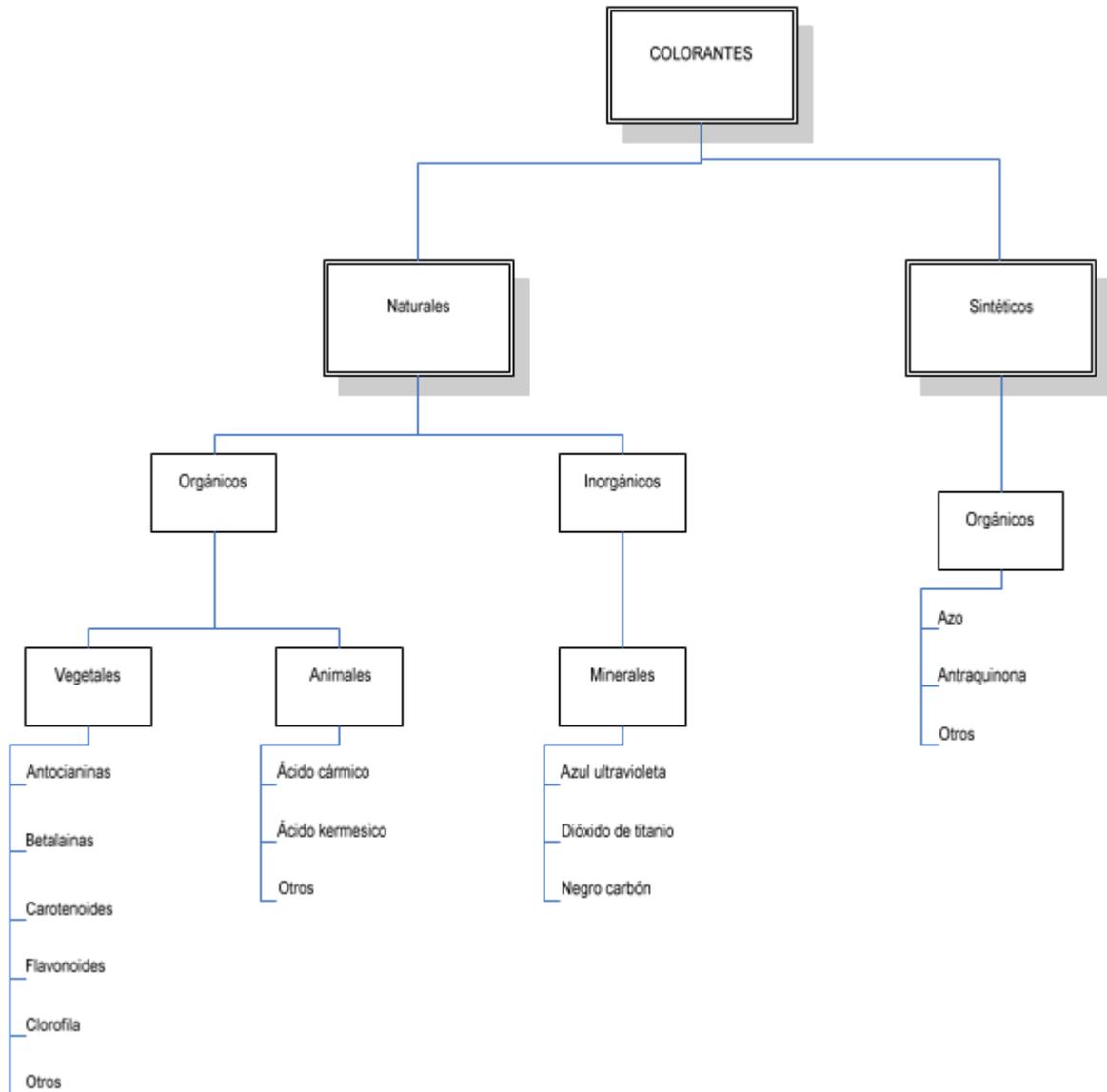


Figura 2 Clasificación de los colorantes. (Quinteros, Mariano , & Lopez, 2002)

7.2.6.1. Colorantes naturales

A pesar de su relativa escasez, cada pigmento desempeña un papel crucial debido a sus propiedades específicas. La estructura química de los pigmentos va más allá de simplemente proporcionar color, ya que influye en aspectos como la estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, su reactividad con otros compuestos químicos que afecta tanto el color como la durabilidad o cambios en estos, su posible toxicidad (requiriendo certificación en algunos casos según normas oficiales), y su potencial capacidad como micronutrientes. Esta comprensión profunda de las propiedades de los pigmentos resalta su relevancia en diversos ámbitos de aplicación. (Salvador, 2016)

7.2.6.2. Colorantes orgánicos

Los colorantes orgánicos se caracterizan por tener en su estructura múltiples dobles enlaces conjugados, también se puede encontrar heteroátomos de nitrógenos y oxígeno (Padial, 2009)

- **Colorantes vegetales:** Se pueden extraer de diferentes estructuras de los vegetales, como son las raíces, cortezas, partes leñosas, hojas, flores, frutos y semillas (Cubero et al, 2002)
- **Colorantes animales:** El colorante más representativo de este grupo es el obtenido a partir de la cochinilla, ya que es considerado como el mejor de los colorantes naturales. Actualmente es utilizado para colorear jarabes, confituras y mermeladas (Perez, 2005)

7.2.6.3. Colorante inorgánico

Los primeros colorantes orgánicos que se conocieron son los obtenidos de los óxidos de metales como el zinc y el hierro. (Molina, 2009).

Colorantes minerales: Entre los colorantes minerales más importantes están considerados el óxido de hierro, el dióxido de titanio, el azul ultramarino estos colorantes han sido prohibidos debido a la toxicidad que presenta (Artusi, 2007).

7.2.6.4. Colorante sintético

Son pigmentos obtenidos por síntesis química. Pueden ser de dos clases: síntesis de moléculas nuevas o síntesis de moléculas iguales a las que se encuentran en el medio natural (Cubero et al, 2002).

En general, los colorantes sintéticos son más resistentes que los colorantes naturales; sin embargo, presentan problemas en su uso; por ejemplo, se decoloran por acción del ácido ascórbico, efecto importante en el caso de las bebidas refrescantes, en las que esta sustancia se utiliza como antioxidante. Los colorantes artificiales pueden utilizarse en forma soluble, como sales de sodio y potasio o bien absorbidos sobre hidróxido de aluminio formando lo que se conoce como laca. La utilización de un colorante soluble o insoluble depende de la forma en que se va a llevar a cabo la dispersión en el alimento (Grupo Latino, 2007).

7.2.6.5. Colorantes azoicos

Estos colorantes forman parte de una familia de sustancias orgánicas caracterizadas por la presencia de un grupo peculiar que contiene nitrógeno unido a anillos aromáticos. Todos se obtienen por síntesis química, no existiendo ninguno de ellos en la naturaleza. El número de colorantes de este grupo es pequeño, en comparación con los existentes, muchos de los cuales

se utilizaron antiguamente y luego se prohibieron por su efecto potencialmente perjudicial para la salud (Grupo latino, 2007).

La mayoría de los colorantes sintéticos son azoicos; entre ellos se encuentra el amarillo N.º 5 denominada también tartrazina (Molina, 2009).

7.2.7. Problemas en la utilización de colorantes sintéticos

En 1939, científicos japoneses observaron un vínculo entre un tinte sintético de uso común y el cáncer en animales de laboratorio. Este descubrimiento llevó rápidamente a la prohibición de todos los colorantes azoicos en los alimentos. A algunos de estos tintes se les permitió volver a usarse solo después de que estudios extensos demostraron su seguridad. Sin embargo, aún hoy existe controversia sobre la seguridad toxicológica de los colorantes azoicos, lo que enfatiza la importancia de continuar investigando y evaluando los efectos de los aditivos alimentarios en la salud humana. (Sánchez, 2013)

Aunque la estructura química de estos colorantes, utilizados principalmente para los dulces, ha ido cambiando con el tiempo de manera que no se descomponen en el organismo, sino que son eliminados por completo e inalterados, comportan todavía cierto riesgo. Éste consiste básicamente en la aparición de reacciones alérgicas, siendo las personas que sufren de asma o que son sensibles al ácido acetilsalicílico las que peor toleran los colorantes azoicos.

En 1906, Bernard Hesse analizó los tintes utilizados en la industria alimentaria estadounidense y descubrió que, de 80 tintes diferentes, la seguridad de 30 nunca había sido probada, 26 tenían resultados mixtos y 8 especies se consideraban un alto peligro para la salud. Como resultado, actualmente solo se aceptan 9 tintes sintéticos con restricciones estrictas en su uso y, según la FDA, solo 8 de ellos pueden comercializarse. (Corrales, 2012)

7.2.8. Colorante del maíz negro

El maíz negro contiene seis antocianinas importantes que contribuyen a su color característico. Estas son: pelargonidina 3-O- β -D-glucósido, peonidina 3-O- β -D-glucósido, cianidina 3-O- β -D-(6-malonilglucósido), pelargonidina 3-O- β -D-(6-malonilglucósido), peonidina 3-O- β -D-(6-malonilglucósido). Estas antocianinas son responsables de la pigmentación distintiva en esta variedad de maíz. (Aoki et al., 2002).

En la figura 3 se puede observar la apariencia la gran variedad de coloraciones del maíz negro (*Zea mays* L.).



Figura 3 Apariencia del maíz negro. (Choperena, 2019)

El colorante obtenido del maíz morado fue aprobado en Japón y figura en la "lista existente para aditivos alimentarios", se usa para la elaboración de bebidas, gelatinas, caramelos, etc. (Aoki et al., 2002).

7.2.9. Medida de color

Uno de los sistemas para medir este atributo es el CIELAB, en el que se define un espacio en coordenadas rectangulares (L^*, a^*, b^*) junto con otro en coordenadas cilíndricas (L^*, H^*, C^*), (Jiménez y Gutiérrez, 2001; Calvo y Duran, 2002).

Este sistema tiene base en la teoría de la apreciación de los colores opuestos, esta dice que un color no puede ser amarillo y azul al mismo tiempo ni tampoco puede ser rojo y verde, esto se muestra es la Figura 4 (Iñiguez et al., 1995).

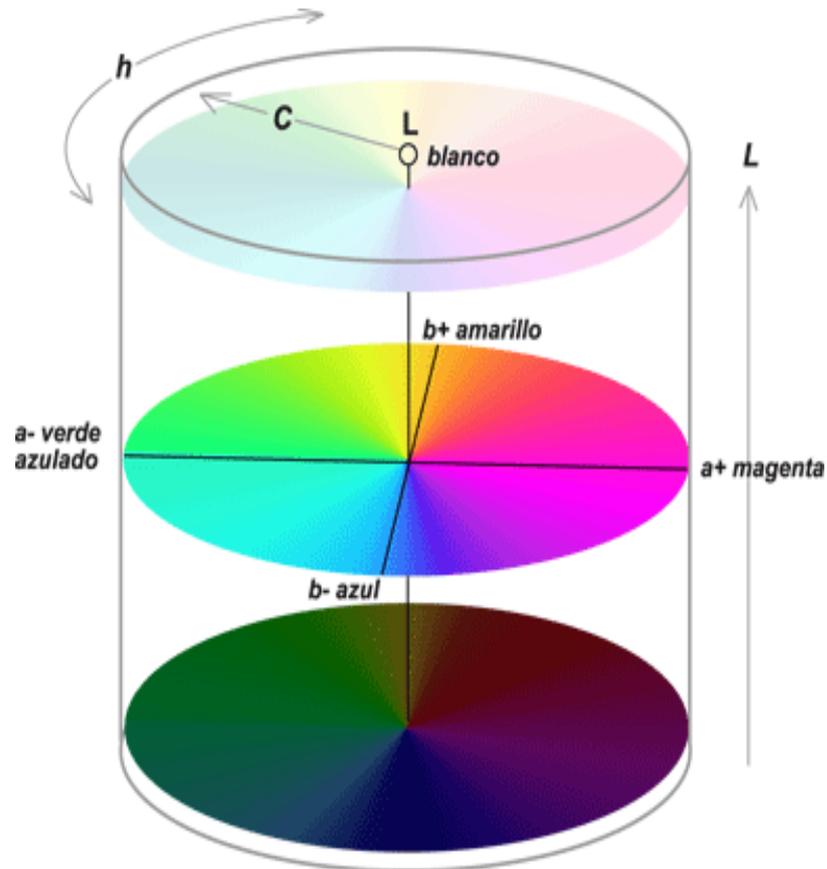


Figura 4 Diagrama Cromático (Proyectacolor, 2011)

El sistema CIELAB, trabaja con los valores triestímulo del sistema CIE (Iñiguez et al., 1995).

- **Luminosidad (Value):** Es considerado como la claridad u oscuridad de un color es decir el brillo que tengan los objetos, es resultado de la cantidad de luz reflejada por dicho objeto, dicho de otra manera, cuánta luz es reflejada otra vez al ojo (Rosenstiel et al., 2009).
- **Matiz (Hue):** Es una propiedad que ayudan a clasificar a los colores en azules, verdes, amarillos, rojos, etc., físicamente esta característica tiene relación con la longitud de onda de una luz de espectro continuo (Carrasco, 2002).
- **Saturación (Chroma):** Se considera como la intensidad del color o la cantidad de color puro que está mezclado con blanco. Es la medida en que un matiz está concentrado (Jiménez y Gutiérrez, 2001).

En la parte central se encuentra el iluminante sobre el cual el eje vertical L^* marca el eje de la luminosidad del color cuyo valor va entre 0 a 100 %, en la mitad de dicho eje se forma un plano horizontal con los valores de las coordenadas a^* y b^* , un valor positivo en la coordenada colorimétrica a^* indica que hay un componente rojo y si es negativo indica que hay un componente verde, si la coordenada b^* es positiva significa que el color tiene componente amarillo mientras que si es negativo el color contiene azul (Iñiguez et al., 1995).

7.2.10. Degradación del colorante del maíz negro

La degradación de los carotenoides se debe principalmente a reacciones de oxidación, ya sea de manera no enzimática o mediada por enzimas como las lipoxigenasas. Este fenómeno ocurre comúnmente durante el proceso de secado de frutas y vegetales. Los primeros datos sobre la oxidación de carotenoides fueron proporcionados por Cole y Kapur, quienes investigaron la degradación del licopeno al variar las condiciones de oxígeno y temperatura. (Meléndez et al., 2004)

La acción de la luz en los colorantes provoca su ruptura, dando como resultado la formación de compuestos incoloros de bajo peso molecular. Estas reacciones tienen un impacto significativo en la industria de alimentos, ya que los colorantes pierden su color distintivo. Los cambios en el pH, ya sea hacia un pH ácido o alcalino, pueden inducir isomerizaciones de ciertos dobles enlaces, lo cual debe tenerse en cuenta en la manipulación de pigmentos. (Schwartz, 1998).

7.2.11. Antioxidantes de maíz negro

La capacidad antioxidante se refiere a la capacidad de las moléculas para aceptar electrones desapareados de la órbita exterior de los radicales libres y reducir el estrés oxidativo, es decir, reducir la cantidad de oxidantes como las especies reactivas de oxígeno (ROS) y las especies reactivas de nitrógeno (RNS). Las ROS normalmente se producen en el citoplasma, las mitocondrias, los peroxisomas, el retículo endoplásmico, la membrana plasmática y los lisosomas; mientras que el ARN se produce en el metabolismo de los aminoácidos (Meo et al., 2016).

La producción de ROS y otros radicales libres es un proceso metabólico celular normal, pero la exposición a contaminantes ambientales, el humo del tabaco y los rayos X puede producir cantidades excesivas de estas sustancias. (Sánchez-Valle y Méndez-Sánchez, 2013).

Cabe señalar, que el incremento de las sustancias reactivas permite la oxidación de biomoléculas importantes en el organismo como las proteínas, lípidos, carbohidratos y ácido desoxirribonucleico (ADN), generando la oxidación degenerativa de un tejido vivo y da lugar a diferentes patologías como las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, mal del Parkinson, cáncer, tumores, entre otros.

7.2.12. Beneficios

A diferencia de otros flavonoides, la síntesis química de los metabolitos de antocianinas es limitada debido a su menor estabilidad sintética en condiciones (pH y temperatura)

comúnmente utilizadas para que otros flavonoides produzcan metabolitos. Sin embargo, algunos metabolitos de antocianinas se han sintetizado mediante métodos enzimáticos. La purificación de los metabolitos de las antocianinas es fundamental para determinar si estos nuevos compuestos son responsables de algunas de las actividades biológicas de las antocianinas informadas. Recientemente, se han incluido en productos alimenticios una variedad de materiales que contienen antocianinas, y estos productos requieren más investigación para demostrar sus efectos fisiológicos. (Fernández, 2009).

7.2.13. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos con características químicas de glucósidos. Generalmente, son de color rojo, rosado, azul y violeta, solubles en agua y están ampliamente distribuidas en la naturaleza, formadas por una molécula de antocianina (aglucon) que se une a una fracción de carbohidrato a través de un enlace glucosídico (Almeida, 2012)

Las antocianinas más importantes son la pelargonidina, la cianidina, la delphinidina, la peonidina, la petunidina y la malvidina. Generalmente una misma antocianina forma interacciones diferentes clases de carbohidratos para formar diferentes antocianinas (Almeida, 2012)

7.2.14. Estructura de las antocianinas

Todas las antocianinas están formadas por el catión flavilo básico (Fennema, 1985) como se muestra en la Figura 5, contienen 2 anillos bencénicos unidos por medio de un anillo heterocíclico y según el tipo de antocianina existen variaciones en algunos de los carbonos de los anillos bencénicos o del anillo heterocíclico antes mencionados (Rebolo, 2003).

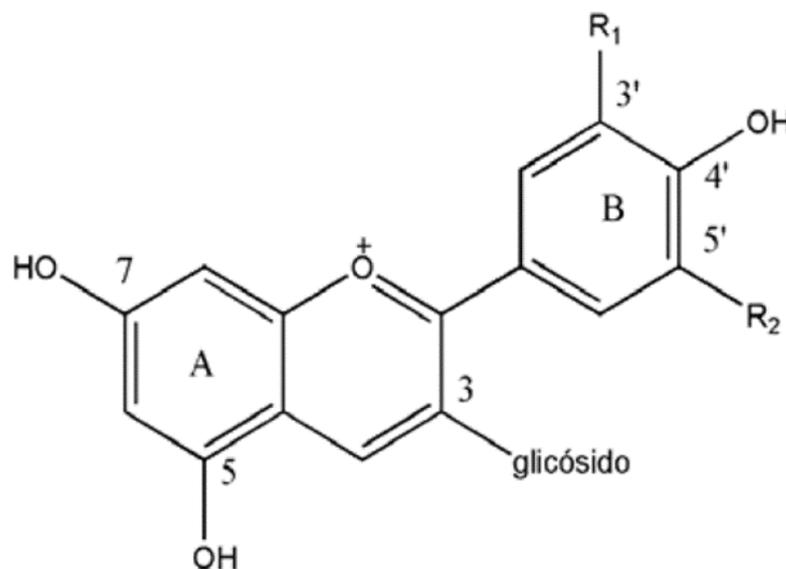


Figura 5 Estructura química del Catión Flavilio (Durst & Wrolstad, 2001)

7.2.15. Factores que afectan la estructura de las antocianinas

La estabilidad de la antocianina depende del tipo de pigmento antocianicos, además de otros factores como: pH, luz, temperatura, enzimas, y otras moléculas como el oxígeno y el ácido ascórbico, los cuales tienen gran impacto en la estabilidad de las antocianinas. Además, la estabilidad es afectada por el proceso tecnológico, extractivo y almacenamiento del maíz morado, los cuales disminuyen la estabilidad de la antocianina en una solución produciendo modificaciones indeseables en la estructura y color

El pH de la solución afecta el color de la antocianina, esto se debe a que la antocianina posee una naturaleza iónica. En soluciones acuosas a valores menores de pH 2, el pigmento se encuentra en su forma más estable o de ion oxonio o catión flavilio (AH⁺) de color rojo intenso, es por eso que su extracción se hace en medio ácido. (Turturica ,2015)

La temperatura es un factor que afecta la estabilidad de las antocianinas, y son menos estables con el incremento de la temperatura. En el pH de 2 a 4, la degradación térmica de las antocianinas produce la hidrólisis de la molécula del azúcar y por ende la transformación de la antocianina resultante a una chalcona o α -dicetona. Cabe señalar, que la degradación térmica de las antocianinas ocurre a través de la ruptura del enlace glucosídico, dando como resultado la formación de la aglicona o chalconas y estructuras hidroxiladas de menor estabilidad que las metiladas, glicosiladas o acetiladas. (Khoo et al., 2017).

La luz es otro factor que afecta la estabilidad de las antocianinas, la cual es necesaria para su asimilación, por otro lado, tiene la desventaja de acelerar su degradación. Las antocianinas mantienen por más tiempo su color en la oscuridad. Las sustituciones que tenga la molécula influyen en su foto degradación, siendo susceptibles, aquellas que en el C-5 sean sustituidas por un grupo hidroxilo, isoflavonas y auronas sulfonadas; sin embargo, la presencia de copigmentos y tecnologías de encapsulación disminuyen la foto degradación y el color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas. (Astrid , 2008)

7.2.16. Compuestos fenólicos

Los fenoles son los compuestos básicos de los sistemas en los cuales un grupo hidroxilo se une a un anillo bencénico. Los compuestos fenólicos se encuentran en la mayoría de las frutas y en muchos casos contribuyen al color y al sabor de las mismas, en este grupo se encuentran las

flavonas, flavononas, flavonoles, chalconas, isoflavonoides, antocianinas y catequinas (Aranceta, 2006).

El enlace C6-C3, fenilpropano, de la fenilalanina y la tirosina, puede hallarse en muchos compuestos fenólicos naturales. La lactona estable del ácido o-cumárico, la cumarina y sus ésteres carbohidráticos, se encuentran ampliamente distribuidos en los vegetales. El éster del ácido cafeico y el ácido químico es el ácido clorogénico, una sustancia muy difundida en las frutas y verduras (papas, manzanas, peras). El ácido gálico es un importante constituyente de los taninos. Sus ésteres se encuentran ampliamente difundidos (Fennema, 2000).

7.2.17. Flavonoides

Los flavonoides corresponden al grupo de los compuestos fenólicos dentro de los cuales existe un rango de sustancias coloreadas. La clasificación de los flavonoides se realiza con base en sus variaciones estructurales, los más importantes son las flavonas, isoflavonas, flavonoides y antocianinas. Estos compuestos tienen buena solubilidad en agua y etanol, debido a que cuentan con la presencia de grupos aromáticos conjugados, tienen una intensa absorción en la región ultravioleta y visible del espectro (Sing, 1997).

7.2.18. Acido oxálico

El ácido oxálico está presente en diversas plantas en forma de sales tanto solubles (sódicas o potásicas) como insolubles (cálcicas) (Gil, 2010).

El consumo de alimentos que contengan gran cantidad de ácido oxálico puede provocar carencias nutricionales debido a que este puede formar enlaces con minerales como hierro, sodio magnesio, potasio. Es letal en cantidades elevadas, ya que el precipitado de oxalato cálcico provoca obstrucción renal. (Valle, 2000; Gil, 2010).

El ácido oxálico posibilita la formación de cálculos renales por precipitar cristales de oxalato cálcico en el tubo renal (Gil, 2010).

7.2.19. Extracción de colorantes

Además de las consideraciones relativas a la estabilidad, debe tenerse en cuenta que el aprovechamiento tecnológico de un producto también depende de su extractabilidad. La extracción de los pigmentos a partir de los tejidos vegetales suele realizarse con solventes orgánicos, Los solventes empleados para el proceso depende de la naturaleza de los pigmentos y su polaridad (Ibarz, 2005).

La extracción sólido-líquido, es una operación unitaria básica que consiste en la separación de uno o varios componentes presentes en una fase sólida, para esto se utiliza una fase líquida o un solvente (Ibarz, 2005).

Para la extracción de pigmentos a partir de los vegetales, se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

El rendimiento o recuperación máxima de los colorantes para un óptimo aprovechamiento de la materia prima.

Concentración de los extractos, lo que incide en el menor gasto de solvente por unidad de peso de la materia prima. También hay que considerar el ahorro en las operaciones de filtración y concentración.

Baja o nula toxicidad del solvente empleado, para facilitar la seguridad del personal que participa en el proceso y porque el producto final está destinado para el consumo humano.

Bajo nivel de extracción de impurezas, o bien, que estas sean de fácil remoción (Quintero et al., 2002)

7.2.20. Solventes para extracción de antocianinas

La extracción de antocianinas es comúnmente llevada a cabo con metanol o etanol conteniendo una pequeña cantidad de ácido (15%, HCl 1M) con el objetivo de obtener la forma del catión flavilio, el cual es estable en un medio altamente ácido.

7.2.20.1. Agua destilada

El agua tiene gran capacidad para disolver sustancias iónicas y sustancias polares la interacción de la molécula del agua con moléculas polares o con iones, se facilita enormemente por la polaridad misma de esta molécula. Las moléculas polares se intercalan con facilidad entre las moléculas de agua, al interactuar sus dipolos con ella, de manera semejante a la forma en que interactúan entre sí las mismas moléculas de agua. En algunos casos, los solutos polares funcionan como donadores y en otros como receptores, en los puentes de hidrógeno que se establecen entre sus moléculas y las del agua. Las sustancias iónicas se disuelven en el agua porque sus moléculas atraen electrostáticamente a los iones que las forman. La interacción con los iones positivos se establece con el polo negativo de la molécula del agua, mientras que la interacción con los iones negativos se produce con el polo positivo de la molécula de agua. Esta hidratación de los iones de cargas opuestas permite su separación y, consecuencia, la solubilización de las sustancias iónicas en el agua (Peña et al 2005)

7.2.20.2. Etanol

El etanol, cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, no solo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, sino uno de los más importantes, sus usos más comunes son industriales, domésticos y medicinales, la industria emplea mucho Etanol como disolvente (Nicaragua 2004).

7.2.20.3. Metanol

El metanol, es un compuesto químico del grupo de los alcoholes, también conocido bajo el nombre de alcohol metílico, siendo, además, el alcohol más sencillo del grupo. Su fórmula es CH_3OH , teniendo una estructura química muy similar a la del agua, diferenciándose tan sólo en los ángulos de enlace. Cuando el metanol está a temperatura ambiente, en condiciones normales, se presenta en estado líquido e incoloro, siendo bastante tóxico, e inflamable. Tiene poca viscosidad y posee un olor característico a frutas bastante penetrable, y perceptible a partir de los 2 ppm. Es un compuesto que puede ser utilizado tanto como disolvente o como combustible, siendo bastante miscible tanto en agua como en otros solventes de tipo orgánico (Méndez 2010).

7.3. Marco conceptual

Pelargonidina: Pelargonidina o Pelargonidín es una antocianina, un tipo de pigmento vegetal. Como todas las antocianinas, es un antioxidante. Produce un color naranja característico. (25 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario

Fenólicos: El término «compuestos fenólicos» engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, nombre popular del hidroxibenceno, unidas a estructuras aromáticas o alifáticas. Únicamente, algunos compuestos fenólicos de la familia de los ácidos fenoles no son polifenoles, sino mono fenoles

Liofilizado: Separar el agua de una sustancia, o de una disolución, mediante congelación y posterior sublimación a presión reducida del hielo formado, para dar lugar a un material esponjoso que se disuelve posteriormente con facilidad

Cromatografía: Método de análisis químico para la separación de los componentes de una mezcla por distribución entre dos fases, una estacionaria y otra móvil.

Heteroátomos: En química orgánica un heteroátomo (del griego heteros, diferente, más átomos) es cualquier átomo salvo el carbono y el hidrógeno.

Tartrazina: La tartrazina o tartrazina es un colorante artificial ampliamente utilizado en la industria alimentaria. Pertenece a la familia de los colorantes azoicos, los que contienen el grupo azo: $-N=N-$. Se presenta en forma de polvo y es soluble en agua, haciéndose de color más amarillo cuanto más disuelta esté

Colorimetría: La colorimetría es la ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación de la percepción del color.

Carotenoides: Semejante al caroteno en estructura y propiedades. Usado también como sustantivo masculino

Lipoxigenasas: Las lipoxigenasas son una familia de enzimas que contienen hierro, la mayoría de las cuales catalizan la di oxigenación de ácidos grasos poliinsaturados en lípidos

RNS: Los receptores nucleares (RNs) constituyen una familia de factores transcripcionales activados por ligando que regulan la expresión de un gran número de genes de forma dependiente del tipo y contexto celular.

Cianidina: La Cianidina es un compuesto orgánico natural que ha sido clasificado como un flavonoide al igual que una antocianina. (25 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.

Heterociclo: Estructura cíclica o en anillo en la que uno o más átomos constituyentes no son de carbono

Oxonio: En química, un ion oxonio es cualquier catión de oxígeno con tres enlaces. El ion oxonio más simple es el ion hidronio H_3O^+

Catequinas: La catequina es un antioxidante poli fenólico que procede de las plantas en las cuales aparece como un metabolito secundario. El término catequina se emplea comúnmente para referirse a la familia de los flavonoides y al subgrupo de los flavan-3-oles.

Taninos: El tanino es una sustancia natural que se encuentra en la piel de las uvas, en las semillas y en el raspón. Pertenece a un grupo de sustancias químicas llamadas polifenoles, junto a flavonas y antocianas.

Hidroalcohólicas: Los hidroalcohólicos son productos formulados a partir de un alto contenido en alcohol, lo que les puede aportar propiedades antisépticas en la limpieza de la piel, según su grado de formulación y test de eficacia garantizada requeridos

Glumas: En botánica, la gluma es una vaina estéril, externa, basal y membranosa presente en plantas gramíneas o poáceas y ciperáceas.

Colorantes azoicos: Los Colorantes Azoicos, no son una única sustancia, sino que son un grupo bastante amplio de más de 3000 sustancias sintéticas distintas y que se venden muy baratos, y además representan alrededor del 65% del mercado mundial de colorantes.

Acetilsalicílico: El ácido acetilsalicílico o AAS, conocido popularmente como aspirina, nombre de una marca que pasó al uso común, es un fármaco de la familia de los salicilatos

FDA: La Administración de Alimentos y Medicamentos es la agencia del Gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos

Biodisponibilidad: Grado en que una sustancia o un principio activo alcanza la circulación general.

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

8.1. Obtención de antocianinas a partir de la coronta de maíz negro. (*Zea mays L*)

8.1.1. Hipótesis Nula

La concentración masa/disolvente, concentración de etanol, temperatura y tiempo no influyen en el rendimiento del proceso de la obtención de antocianinas.

8.1.2. Hipótesis Alternativa

La concentración masa/disolvente, concentración de etanol, temperatura y tiempo influyen en el rendimiento del proceso de la obtención de antocianinas.

8.1.3. Validación

El diseño experimental de superficie respuesta ejecutado en la investigación, concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, ya que, si influye la concentración masa/disolvente, concentración de etanol, temperatura y tiempo de antocianinas de la coronta de maíz negro.

8.2. Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz negro (*Zea mays L*)

8.2.1. Hipótesis Nula

La velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de aire de entrada no influyen al secado del extracto de antocianinas del desecho del maíz negro.

8.2.2. Hipótesis Alternativa

La velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de aire de entrada influyen al secado del extracto de antocianinas del desecho del maíz negro.

8.2.3. Validación

El diseño experimental de superficie respuesta ejecutado en la investigación, concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, ya que si influye la velocidad de flujo de alimentación y la temperatura de aire de entrada en el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz negro (*Zea mays* L)

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología es la selección, exposición y análisis de la o las teorías, métodos, procedimientos y conocimientos que sirven para fundamentar el tema, para explicar los antecedentes e interpretar los resultados de la investigación; es la plataforma de la que se derivan la hipótesis y las variables. (Greenberg, 1997)

Para el desarrollo del presente trabajo se emplearon los siguientes tipos de investigación: cuantitativa, cualitativa, descriptiva y experimental.

9.1. Tipos de Investigación

Se empleó los siguientes tipos que a continuación se menciona:

9.1.1. Investigación cuantitativa

Este tipo de enfoque utiliza la recolección y análisis de datos, para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis formuladas, además confía en la medición de variables e instrumentos de investigación, con el uso de la estadística y diseño experimental (Ñaupas et al., 2014).

Esta investigación denota un enfoque cuantitativo, debido que para la ejecución de la extracción de la antocianina de la coronta de maíz negro se utilizó factores numéricos utilizando variables, por lo que se pudo establecer las condiciones óptimas de la extracción. Además, se caracterizó el desecho del maíz deshidratado, donde se pudo determinar la composición química.

9.1.2. Investigación cualitativa

Hace referencia a propiedades y atributos no cuantificables, que describen, comprenden y explican de mejor manera los fenómenos, acontecimientos, poblaciones, muestras u objetos (Ñaupas et al., 2014).

Para proceder a la selección de la coronta de maíz negro, se tuvo que evaluar las cualidades de la planta, enfocándonos en la clase, familia y producción de metabolitos secundarios. Además, se tuvo que recurrir a metodologías soxhlet para la identificación de compuestos químicos del colorante extraído.

9.1.3. Investigación descriptiva

Este tipo de investigación especifica las propiedades y características, de procesos, objetos o cualquier fenómeno que se someta a un análisis, con el fin de establecer su estructura o comportamiento (Gallardo, 2017).

Bibliográficamente se describen las cualidades que posee la coronta, en cuanto a características botánicas, rendimiento y utilidad, para describir un procedimiento básico de extracción de la coronta con esta información.

La caracterización de la antocianina de la coronta de maíz negro incluye la caracterización de los constituyentes químicos que entran en la composición de la muestra.

9.1.4. Investigación experimental:

Este tipo de investigación consiste en determinar un individuo a condiciones o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente), además por la manipulación y control de variables que ejerce el investigador durante el experimento (Gallardo, 2017).

En el presente proyecto de investigación se llevará a cabo la extracción de la antocianina de la coronta de maíz negro utilizando el equipo de soxhlet que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

9.2. Técnicas

Para elaborar la investigación se tomó en cuenta varias técnicas como:

9.2.1. Observación

Consiste en captar por medio de la vista, en forma directa y sistemática cualquier hecho o situación en función de los objetivos de investigación. Puede ser participante o no participante, y estructurada o no estructurada.

9.2.2. Estudio correlacional

Permite determinar la relación que existe entre dos o más variables del proyecto de investigación.

9.2.3. Estudio causal-comparativo

Permite conocer la relación causa-efecto por el tiempo en el que ocurren. Se clasifican en estudios retrospectivos y prospectivos.

9.3. Materiales y Equipos

Los materiales utilizados para la realización de la presente investigación se detallan a continuación:

9.3.1. Materia prima

- Coronta de maíz negro

9.3.2. Materiales de laboratorio

- Probeta
- Beakers
- Embudo de vidrio
- Balón de extracción para Rotavapor de fondo redondo
- Frasco de vidrio
- Viales de vidrio

9.3.3. Equipos de laboratorio

- Deshidratadora
- Molino
- Rota evaporador
- Balanza electrónica
- Estufa
- Mufla
- Procesadora de alimentos

9.3.4. Reactivos

- Etanol al 96°
- Maltodextrina
- Agua destilada

9.4. Metodologías utilizadas en el proyecto de investigación

9.4.1. Metodología para la determinación de Humedad de la coronta de maíz negro.

- Deshidratar la muestra de coronta de maíz negro.
- Triturar la muestra de coronta de maíz negro hasta obtener un polvo.
- Pesar dos crisoles y anotar su peso.
- Pesar de 3 a 4 gramos de la muestra en la balanza analítica.
- Secar las muestras en la estufa a 105° C durante 3 horas.
- Sacar la muestra de la estufa y poner a enfriar en un desecador durante 10 minutos.
- Pesar la muestra seca hasta obtener un peso constante, regresando 10 minutos a la estufa y enfriando.
- Calcular el contenido de humedad con el peso perdido de la muestra durante el secado, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Determinación de humedad.

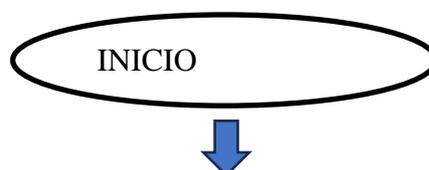
$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

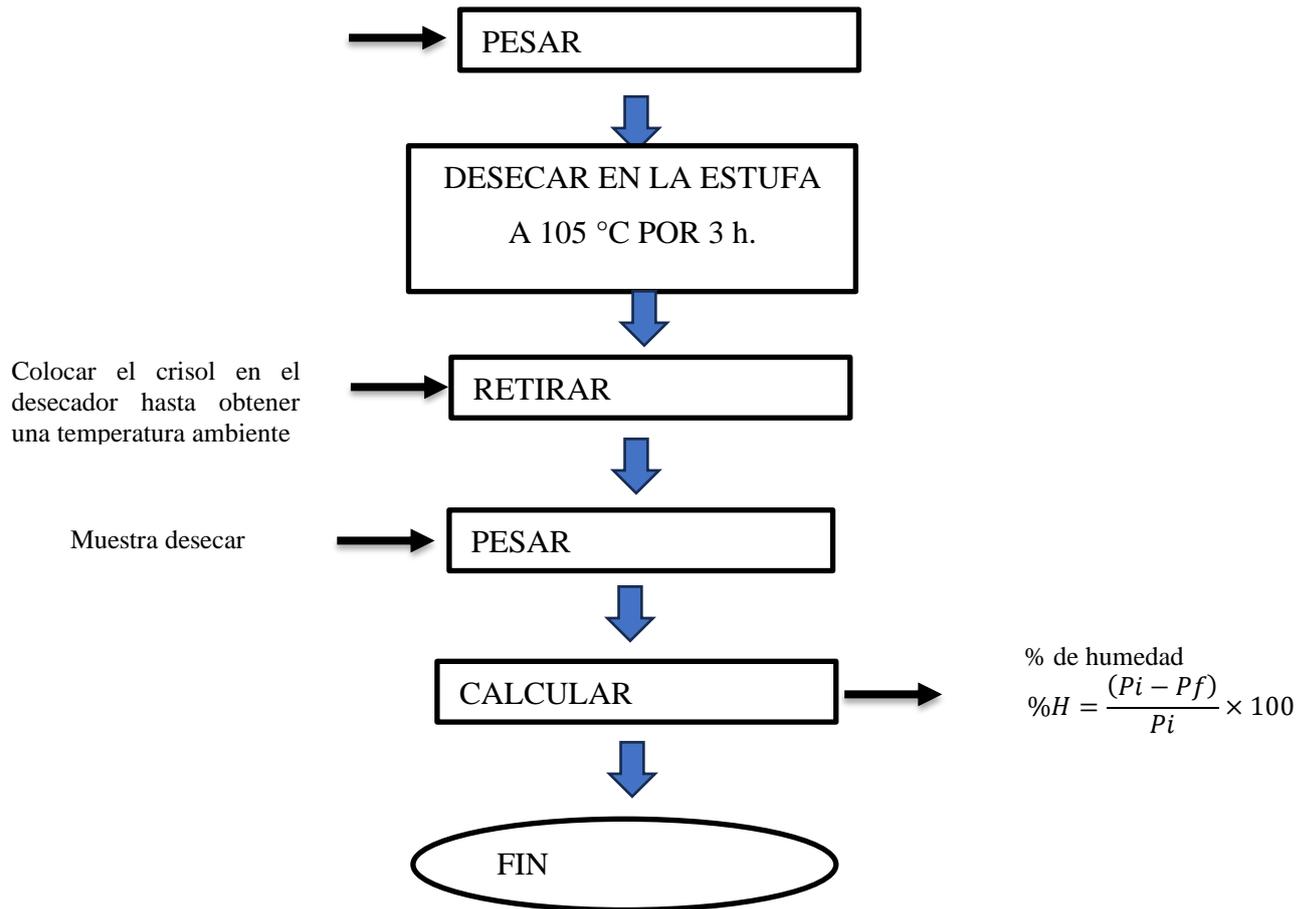
P_i= Peso inicial.

P_f= Peso final.

Flujograma 1. Metodología de humedad



Crisol vacío y crisol con la muestra



9.4.2. Metodología para la determinación de Ceniza de la coronta de maíz negro.

Pesar dos crisoles y anotar su peso.

Procedemos a pesar los crisoles vacíos en duplicado para saber su peso exacto para después llevar a cabo los respectivos cálculos se debe tarar los crisoles antes de usarlos.

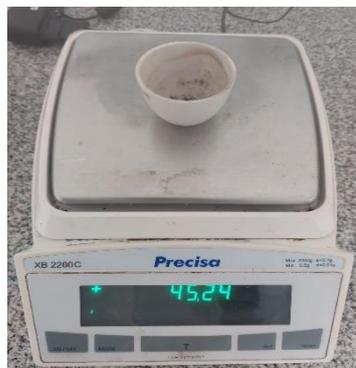


Figura 6 Pesado de crisoles en la balanza analítica (Marroquin y Piltaxi, 2023)

Pesar de 3 a 4 gramos de la muestra en la balanza analítica.

Introducimos la muestra en los crisoles con el mismo peso por duplicado para después proceder llevarlos a la mufla.



Figura 7 Pesado de los crisoles con sus respectivas muestras (Marroquín y Pilataxi, 2023)

Colocar en la mufla a 550° C por una hora.

Una vez que hayamos pesado las muestras las introducimos en la mufla con una temperatura de 550° C por un lapso de tiempo de una hora para llevar a cabo este proceso es necesario introducirlas mediante la utilización de pinzas.



Figura 8 Mufla a temperatura de 550°C (Marroquín y Pilataxi, 2023)

Dejar enfriar la muestra

Una vez que se haya completado el tiempo de una hora procedemos a sacar la muestra de la mufla y con la utilización de las pinzas procedemos a pasarlas al desecador por un lapso de tiempo de 10 minutos



Figura 9 Muestras colocadas en el desecador (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Pesar la muestra

Una vez que haya transcurrido los 10 minutos procedemos a llevar las muestras por duplicado a la balanza analítica para realizar su respectivo pesaje y realizar los respectivos cálculos para sacar el porcentaje de ceniza

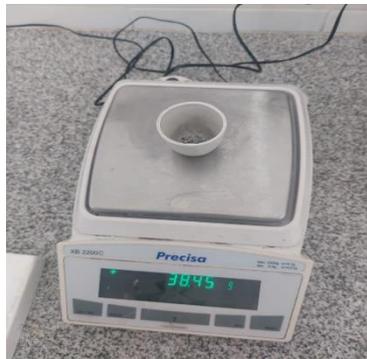


Figura 10 Pesaje de la ceniza obtenida de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Calcular el contenido de ceniza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Determinación de ceniza

$$\%Ceniza = \frac{P-p}{M} \cdot 100 \quad (Ecuacion\ 2)$$

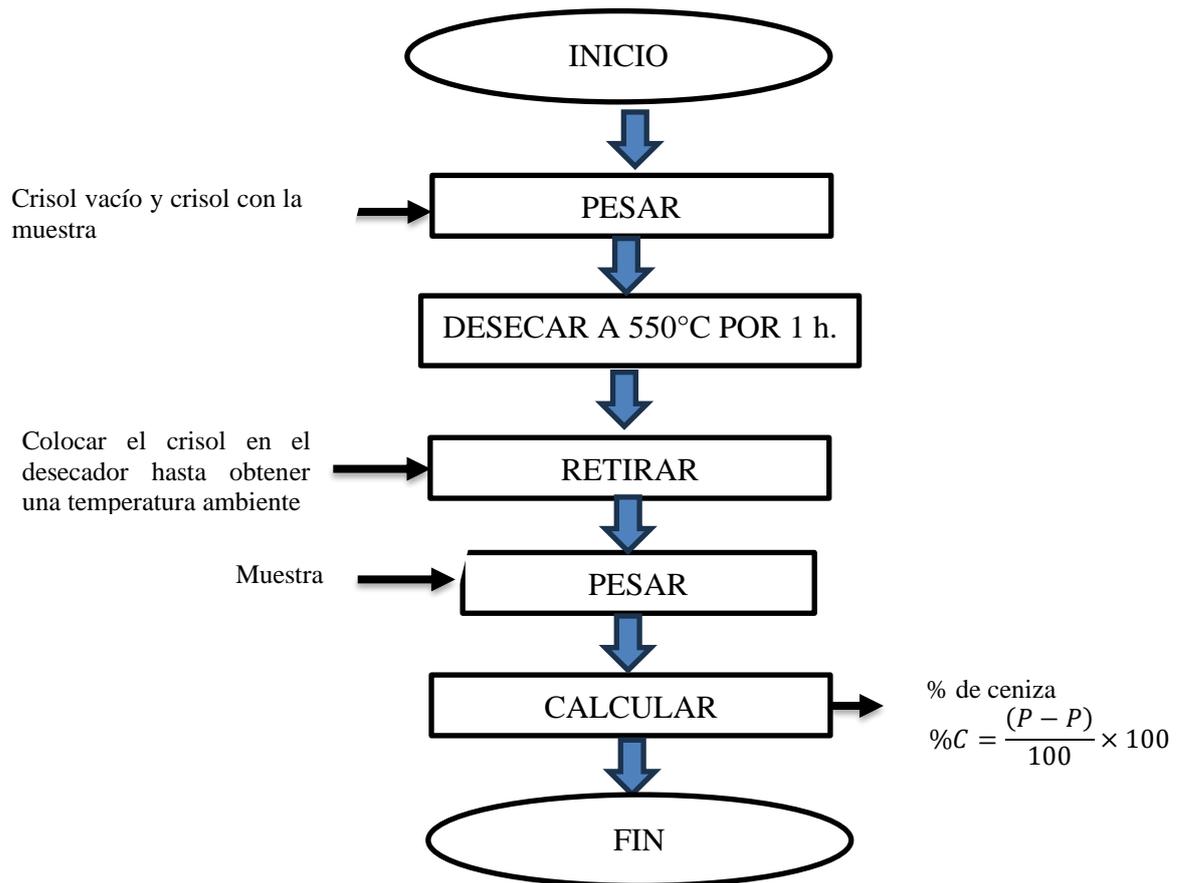
En donde:

P=Peso del crisol más la ceniza

p=Peso del crisol vacío

M= Peso de la muestra

Flujograma 2. Determinación del porcentaje de ceniza.



9.4.3. Metodología para la determinación de la Densidad Aparente

La densidad aparente se midió tomando una muestra de 0,5 g del polvo de la microcápsula y colocándola en un tubo de ensayo. Luego se determina el volumen del polvo para determinar la relación masa-volumen como se muestra en la Ecuación (10).

Ecuación 3. Determinación de la Densidad Aparente

$$Da = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

m = masa de la muestra (g).

v = volumen de la muestra (ml).

Cuando la cantidad de aire atrapado es mayor se disminuye el valor de la densidad aparente de las microcápsulas, y a partir de esta se determina la densidad compactada.

9.4.4. Metodología para la determinación de la Densidad Compactada

En el análisis de densidad compactada, se colocó 1 g de polvo en un tubo de ensayo y se sometió a 50 golpes manuales para lograr la compactación, lo que mostró un cambio significativo con respecto al volumen obtenido de la medición de densidad aparente. Luego, la densidad compacta se determina utilizando la relación entre la masa del polvo y su volumen como se muestra en la ecuación (3). (Copado, 2017).

Ecuación 4. Determinación de la Densidad Compactada

$$Dc = \frac{m}{Vc} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

m= masa de la muestra utilizada (1g)

Vc= volumen de muestra compactada en ml

9.4.5. Metodología para la determinación de Higroscopia

Para llevar a cabo la metodología se toma en cuenta la propiedad de algunos cuerpos o materiales de absorber agua y variar su peso.

Ecuación 5. Determinación de Higroscopia

$$C = \frac{Vr}{Va} \quad (\text{Ecuación 5})$$

9.4.6. Metodología para la determinación de Solubilidad

Para llevar a cabo el análisis de solubilidad, se tomó una muestra de 1 gramo de polvo, la cual se depositó en un vaso de precipitación que contenía 100 ml de agua destilada. La mezcla fue agitada manualmente hasta lograr la completa solubilización del polvo. Posteriormente, se extrajeron 10 ml de la muestra y se sometieron a centrifugación a 4000 rpm durante 5 minutos. Tras este paso, se filtraron 20 ml de la muestra y el papel con los residuos se colocó en una caja petri previamente pesada. La caja petri, junto con el papel, se introdujo en una estufa a 105°C por 3 horas para asegurar el secado total. Finalmente, se colocó en un desecador durante 20 minutos para su enfriamiento antes de pesar el papel filtro. Este proceso se calculó mediante la fórmula correspondiente como lo indica la Ec (6) (Adolfo y Huertas, 2010).

Ecuación 6. Determinación de Solubilidad

$$\text{solubilidad} = \frac{\text{peso sólido} \cdot 4}{\text{peso muestra}} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

9.4.7. Metodología para la determinación del Rendimiento

La cuantificación del rendimiento del microencapsulado se realiza mediante la relación entre el peso del polvo de las microcápsulas y el peso esperado de las microcápsulas, considerando la cantidad de emulsión introducida en la máquina. La Ec (9) se presenta a continuación:

Ecuación 7. Determinación del Rendimiento

$$\%rendimiento = \left(\frac{Pm}{PME} + muestra \right) \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

PM = Peso de las microcápsulas después del secado.

PME = Peso de las microcápsulas esperado.

Es importante destacar que la matriz encapsulante influye significativamente en el rendimiento, ya que su viscosidad desempeña un papel crucial. Una viscosidad baja puede resultar en la formación de una mezcla en el interior, retrasando la creación de una superficie penetrable. En contraste, una viscosidad alta puede mejorar el rendimiento (Manzanarez, 2022).

9.4.8. Metodología para la determinación del Índice de Carr

El índice de Carr es un índice utilizado para evaluar la compresibilidad de una muestra en forma de polvo o granular. Esta métrica es muy importante para comprender la capacidad de un material para fluir y comprimirse en forma de polvo, proporcionando información valiosa sobre sus propiedades físicas y facilitando la optimización de los procesos relacionados con el manejo y la fabricación de muestras. Calculado por la fórmula (7). (Baranauskaite et al., 2019).

Ecuación 8. Determinación del Índice de Carr

$$IC = \frac{Da - Dc}{PMEDc} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 8}) \quad \text{ecc. 8}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

Dc: Densidad compactada

9.4.9. Metodología para la determinación del Índice de Hausner

El cálculo del índice de Hausner incluye consideraciones del volumen aparente y comprimido del material. Este índice es esencial para evaluar las propiedades de flujo y la compresibilidad de una muestra, proporcionando un indicador clave para ayudar a comprender su

comportamiento durante la producción y el almacenamiento. Un valor bajo del índice de Hausner indica buenas propiedades de flujo y compresibilidad, que son esenciales para un proceso eficiente y la calidad del producto final, y se pueden obtener aplicando la siguiente ecuación (8).

Ecuación 9. Determinación del Índice de Hausner

$$IH = \frac{Dc}{Da} \quad (\text{Ecuación 9})$$

9.4.10. Metodología de extracción de antocianinas provenientes de la coronta de maíz negro.

Pesar 300 gramos de la muestra de coronta de maíz negro en polvo.

Pesamos la muestra triturada y secada en la balanza analítica para después llevarla al procesador de alimentos.

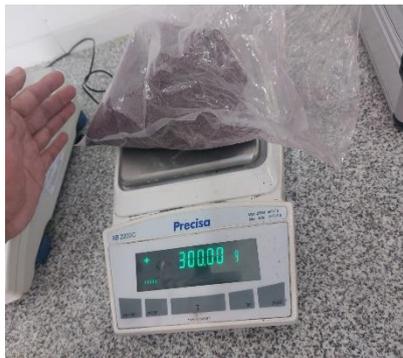


Figura 11 Pesaje de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Colocar en la MASTERCOOKER

Introducimos primero 150 gramos de la muestra con etanol al 96° y agua destilada hasta obtener una muestra homogénea a una velocidad y temperatura determinada por un lapso de tiempo



Figura 12 Muestra introducida en el MASTERCOOKER (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Tamizar la muestra líquida en un frasco de vidrio

Una vez obtenida la muestra la tamizamos en un frasco de vidrio y después procedemos hacer el mismo paso con los 150g sobrantes a las mismas condiciones



Figura 13 Tamización de la muestra (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Llevar la muestra líquida a un balón y posteriormente colocarla en el ROTAVAPOR.

Una vez obtenida la muestra por completa procedemos a llevarla al ROTAVAPOR para colocarla en los balones una vez prendido el equipo esperamos que se lleve por completo el proceso de destilación.



Figura 14 Introducción de la muestra en el ROTAVAPOR (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Realizar las respectivas corridas hasta que en el balón solo se mantenga la antocianina de la coronta de maíz negro.

Una vez que se haya destilado todo el etanol procedemos a sacar la muestra de los balones para de esa manera colocarla en un frasco ámbar para evitar que entre la luz y se produzca algún tipo de daño.

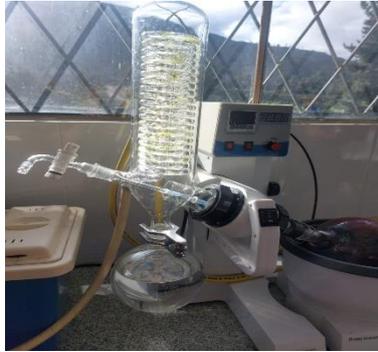
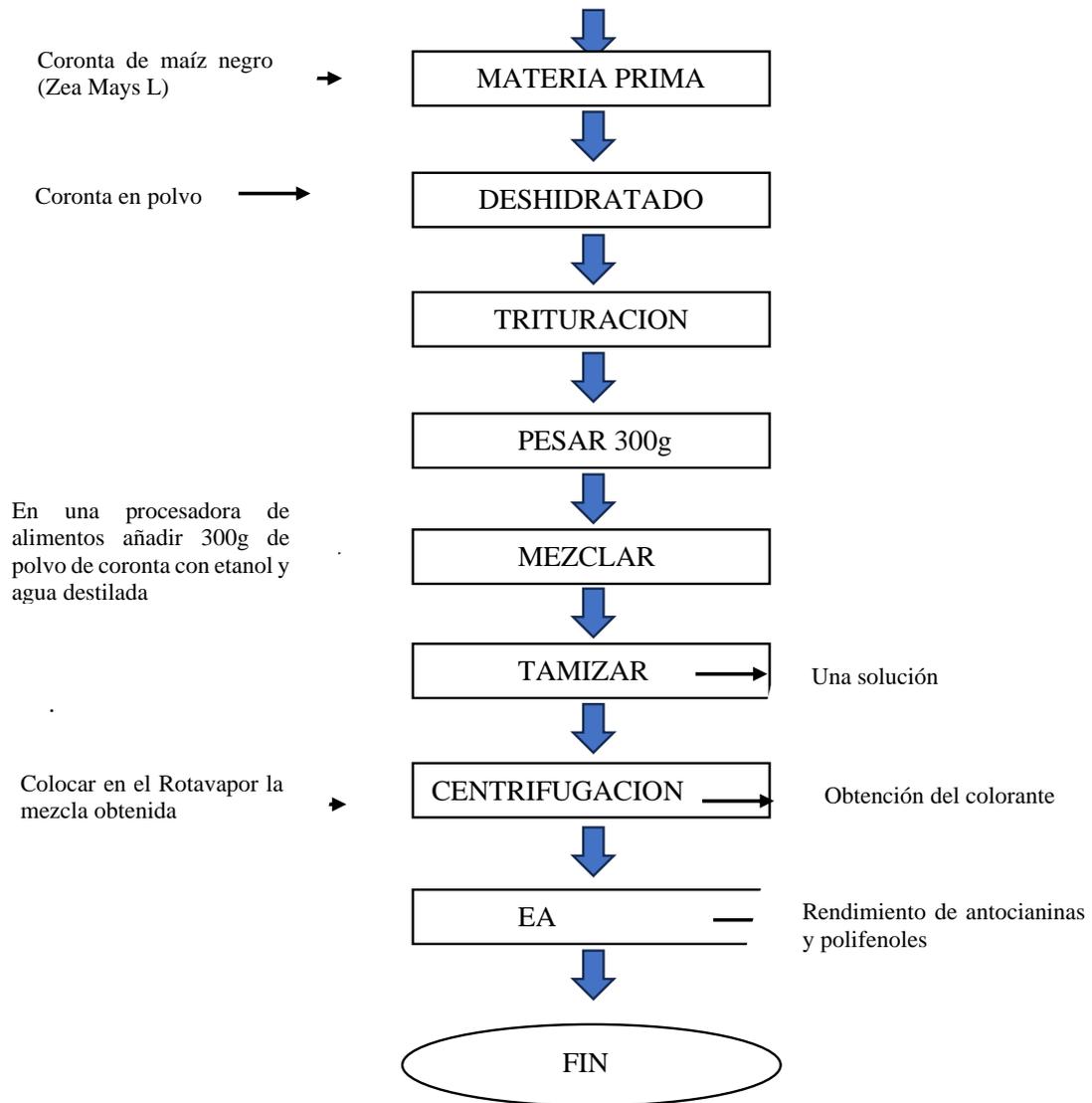


Figura 15 Muestra destilada (Marroquin y Pilataxi, 2023)

Una vez obtenida la antocianina realizar la determinación del porcentaje de humedad.

Flujograma 3. Obtención de antocianinas con el desecho de maíz deshidratado.



9.4.11. Metodología para la obtención de antocianinas en polvo.

Según (Casanova, 2013) manifiesta que el secado por aspersión es un proceso que convierte un alimento líquido en un polvo por evaporación rápida del agua al tener contacto con una corriente de aire caliente. Se diferencia de los otros métodos de secado en las características del alimento (líquido en la atomización frente a sólidos o semisólidos para otros métodos de secado), tiempo de residencia (de 5 a 100 segundos en la atomización frente a lecho fluidizado que se demora en secar un producto entre 1 y 300 minutos) y tamaño de la partícula (10 a 500 micrómetros para atomización frente 10 a 3000 micrómetros para lecho fluidizado); además de estas diferencias el secado por aspersión tiene las siguientes ventajas:

Es una operación de secado continua y fácil y se puede adaptar a un control automático completo.

Existe un amplio conjunto de diseños de secadores que se pueden aplicar a materiales sensibles al calor, corrosivos y abrasivos.

9.5. Diseño Experimental

9.5.1. Rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.

Para la ejecución del tratamiento estadístico, experimental y procesamiento de la información, se realizó en el programa Design Expert (Stat-Ease Inc., Minneapolis, EE.UU.). Para el diseño experimental se usará el modelo de optimización numérica mediante el diseño de superficie respuesta IV Óptimo, el cual genera una ecuación matemática que evidencia la tendencia de las condiciones del proceso.

Se tomará en cuenta las condiciones de temperatura (A); tiempo (B), relación masa/disolvente (C) y concentración de etanol (D)

En la Tabla 3 se muestra el intervalo a evaluar para cada uno de los factores. Los factores evaluados fueron: temperatura (A); tiempo (B), relación masa/disolvente (C) y concentración de etanol (D), mientras que el rendimiento de antocianinas y polifenoles es la variable respuesta.

Tabla 3. Condiciones experimentales para el diseño de experimentos en la obtención de antocianinas y polifenoles.

Factor	Nomenclatura	UM	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo
Temperatura	A	°C	Numérico	Discreta	40	60
Tiempo	B	H	Numérico	Discreta	3	9
Relación masa/disolvente	C		Numérico	Discreta	1	3
Concentración de etanol	D	%	Numérico	Discreta	85	95

En la Tabla 3 se muestra el intervalo a evaluar para cada uno de los factores. Los factores evaluados fueron: temperatura (A); tiempo (B), relación masa/disolvente (C) y concentración de etanol (D), mientras que el rendimiento de antocianinas y polifenoles es la variable respuesta.

9.5.1.1. Corridas experimentales

La Tabla 4 muestra las corridas experimentales generadas del diseño de superficie respuestas IV Óptimo, las cuales fueron utilizadas para la experimentación en el desarrollo de la investigación.

Tabla 4. Corridas experimentales para la obtención de antocianinas.

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Relación masa/disolvente	Concentración etanol (%)
1	50.00	6.00	2.00	85.00
2	50.00	3.00	2.00	90.00
3	40.00	6.00	3.00	95.00
4	60.00	6.00	1.00	90.00
5	40.00	3.00	1.00	95.00
6	50.00	6.00	2.00	85.00
7	40.00	3.00	3.00	85.00
8	60.00	3.00	2.00	95.00
9	40.00	9.00	3.00	85.00
10	40.00	9.00	1.00	85.00
11	60.00	9.00	3.00	95.00
12	50.00	3.00	2.00	90.00
13	60.00	3.00	1.00	85.00
14	40.00	6.00	1.00	90.00
15	60.00	3.00	3.00	85.00
16	40.00	9.00	2.00	90.00
17	60.00	9.00	1.00	85.00
18	50.00	3.00	3.00	90.00
19	50.00	3.00	1.00	85.00
20	50.00	9.00	1.00	95.00
21	50.00	6.00	2.00	85.00
22	60.00	3.00	1.00	95.00
23	60.00	6.00	1.00	90.00
24	40.00	6.00	2.00	85.00
25	40.00	9.00	2.00	90.00

La Tabla 4 muestra las corridas experimentales generadas del diseño de superficie respuestas IV Óptimo, las cuales fueron utilizadas para la experimentación en el desarrollo de la investigación.

9.5.1.2. Cuadro de variables

En la tabla 5 se presenta la variable dependiente como la variable independiente, además, de indicar los indicadores y dimensiones para la obtención de antocianinas.

Tabla 5. Cuadro de variables para la obtención de antocianinas

Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores	Dimensiones
Obtención de antocianinas a partir de la coronta de maíz negro.	Temperatura (°C)	Rendimiento de antocianinas	%
	Tiempo(h)	Rendimiento de polifenoles	%
	Relación masa/disolvente	Optimización	
	Concentración de etanol	Caracterización física y química del extracto acuoso	%

En la tabla 5 se presenta la variable dependiente como la variable independiente, además, de indicar los indicadores y dimensiones para la obtención de antocianinas.

9.5.2. Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (*Zea Mays L*)

Para la ejecución del tratamiento estadístico, experimental y procesamiento de la información, se realizó en el programa Design Expert (Stad-Ease Inc., Minneapolis, EE.UU.). Para el diseño experimental se usará el modelo de optimización numérica mediante el diseño de superficie respuesta IV Óptimo, el cual genera una ecuación matemática que evidencia la tendencia de las condiciones del proceso.

Se tomará en cuenta las condiciones de velocidad de flujo de alimentación y temperatura de aire de entrada

En la Tabla 6 se muestra el intervalo a evaluar para cada uno de los factores. Los factores evaluados fueron: temperatura (A); tiempo (B), relación masa/disolvente (C) y concentración

de etanol (D), mientras que el rendimiento de antocianinas y polifenoles es la variable respuesta.

Tabla 6. Condiciones experimentales para el diseño de experimentos para el secado de extracto de antocianinas

Factor	Nomenclatura	UM	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo
Velocidad de flujo de alimentación	A	ml/h	Numérico	Discreta	40	60
Temperatura de aire de entrada	B	°C	Numérico	Discreta	3	9

9.5.2.1. Corridas experimentales

La Tabla 7 muestra las corridas experimentales generadas del diseño de superficie respuestas IV Óptimo, las cuales fueron utilizadas para la experimentación en el desarrollo de la investigación.

Tabla 7. Corridas experimentales para la obtención de antocianinas en polvo.

Corrida	Velocidad de flujo de alimentación (ml/h)	Temperatura de aire de entrada (°C)
1	600,00	170,00
2	600,00	160,00
3	700,00	170,00
4	700,00	150,00
5	500,00	150,00
6	500,00	170,00
7	600,00	160,00
8	700,00	160,00
9	500,00	160,00

9.5.2.2. Cuadro de variables

En la tabla 8 se presenta la variable dependiente como la variable independiente, además, de indicar los indicadores y dimensiones para la obtención de antocianinas en polvo.

Tabla 8. Cuadro de variables para la obtención de antocianinas en polvo.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores	Dimensiones
Obtención de antocianinas por secado de extracto	Velocidad de flujo de alimentación(ml/h)	Rendimiento	%
	Temperatura de aire de entrada(°C)	Contenido de antocianinas	mg/1000g
		Contenido de Polifenoles	mg/1000g
		Humedad	%

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1. Coronta de maíz negro deshidratado

En la tabla 9 se puede observar los datos obtenidos para los diferentes parámetros en la caracterización química del desecho del maíz negro deshidratado.

Tabla 9. Caracterización química del desecho del maíz deshidratado (*Zea mays L*)

Parámetro	Resultado
Ceniza	12,34
Humedad	8,82
Antocianina (mg/L) *	280,34

Expresados como equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G).

Al realizar la respectiva caracterización de la coronta de maíz deshidratado se pudo evidenciar que presenta un 12,34% de ceniza mientras que en su humedad presenta un 8,82%, además, que para su respectivo proceso nos arroja un valor de 280,34 mg/L de antocianina.

Según Lilia, (2020) en su estudio “Obtención y caracterización funcional de harina y almidón de maíz negro” arroja resultados en los que la harina posee un 0,37 % de cenizas y un 6,47 %. En comparación con los resultados obtenidos se observa que existe gran diferencia esto puede deberse a la variedad de semilla o a la vez porque la corola tenga más contenido de cenizas y humedad que el grano.

10.2. Rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.

La Tabla 10 muestra la matriz experimental para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz, donde se llevaron a cabo un total de 25 corridas experimentales, donde se evaluaron diferentes factores como la temperatura (40, 50 y 60 °C), así como también el tiempo (3, 6 y 9 h), además de eso la relación masa/disolvente (1=1:10, 2=1:15 y 3=1:20) y con una concentración de etanol (85, 90 y 95).

Tabla 10. Matriz experimental para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Relación masa/disolvente	Concentración etanol (%)	Rendimiento antocianina (%)	Rendimiento polifenoles (%)
1	50.00	6.00	2.00	85.00	35.6	65.0
2	50.00	3.00	2.00	90.00	34.7	63.1
3	40.00	6.00	3.00	95.00	35.2	63.9
4	60.00	6.00	1.00	90.00	37.3	72.2
5	40.00	3.00	1.00	95.00	33.9	61.8
6	50.00	6.00	2.00	85.00	35.4	64.2
7	40.00	3.00	3.00	85.00	30.2	54.8
8	60.00	3.00	2.00	95.00	39.4	76.8
9	40.00	9.00	3.00	85.00	34.2	62.7
10	40.00	9.00	1.00	85.00	31.7	59.1
11	60.00	9.00	3.00	95.00	41.3	81.4
12	50.00	3.00	2.00	90.00	35.9	64.6
13	60.00	3.00	1.00	85.00	37	70.7
14	40.00	6.00	1.00	90.00	31.4	57.8
15	60.00	3.00	3.00	85.00	38.8	75.7
16	40.00	9.00	2.00	90.00	32.3	60.4
17	60.00	9.00	1.00	85.00	38.1	72.4

18	50.00	3.00	3.00	90.00	36.2	66.5
19	50.00	3.00	1.00	85.00	35	63.7
20	50.00	9.00	1.00	95.00	36.8	70.4
21	50.00	6.00	2.00	85.00	34.8	63.5
22	60.00	3.00	1.00	95.00	38.5	74.6
23	60.00	6.00	1.00	90.00	36.6	67.4
24	40.00	6.00	2.00	85.00	32.6	60.4
25	40.00	9.00	2.00	90.00	33.7	61.4

En ambos casos, la comprobación de la suposición de normalidad se realizó analizando la probabilidad normal de los residuos mediante un análisis de varianza (Fig. 16 y 17). Se observa que los valores de los residuos estudiados internamente se ajustaron a una recta como resultado de la distribución normal de los errores, por lo que se cumplió la hipótesis de normalidad.

Además, se puede observar que la corrida experimental con mejores resultados es la 11 donde nos arroja unos resultados de 41.3 en el rendimiento de antocianinas y de 81.4 en el rendimiento de polifenoles.

10.2.1. Rendimiento de antocianina

La Tabla 11 muestra la significación de los análisis de varianza de la regresión y de los coeficientes estimados para los rendimientos de Antocianinas. Los mejores ajustes resultaron para los modelos cuadráticos y 2FI para los Antocianinas los que resultaron significativos para un 95 % de confianza.

Tabla 11. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de antocianina

Indicador	Rendimiento antocianina (%)
Intercepto	36,42
X _{TEE}	2,95*
X _{TIE}	0,48*
X _{RMD}	0,76*
X _{CPF}	0,91*
R ²	0,9062
R ² ajustado	0,8874
R ² predicho	0,8447
F modelo	48,29*
F falta de ajuste	2,01
Precisión adecuada	23,06

TEE: Temperatura de extracción

TIE: Tiempo de extracción

RMD: Relación masa/disolvente

CPF: Concentración de etanol

*Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Para el caso del Rendimiento de Antocianinas, el tiempo de extracción, la relación masa/disolvente, la temperatura y las interacciones AB, AC y OCD resultaron significativas ($p \leq 0,05$). La ecuación del modelo es:

$$RA = 17,5554 + 0,8424A - 1,2982B + 6,9612C - 2,7582D - 1,5694AB + 1,1111AC + 0,1856AD - 0,5225BC + 0,8731BD - 2,9732CD$$

donde A: porcentaje de etanol, B: tiempo de extracción, C: relación masa/disolvente y D: temperatura.

Se observa que el término de la relación masa/disolvente tiene mayor influencia sobre el rendimiento de Antocianinas. En relación a los signos de los coeficientes, el rendimiento de extracción de antocianinas se incrementa a medida que aumenta la relación masa/disolvente y disminuyen la temperatura y el tiempo de extracción. Las mejores condiciones de extracción de antocianinas se correspondieron con la relación masa/disolvente 3 g por cada 5 mL a 60 °C, con porcentajes de etanol entre 90 y 95 % (v/v) y entre 6 y 9 h como tiempo de extracción.

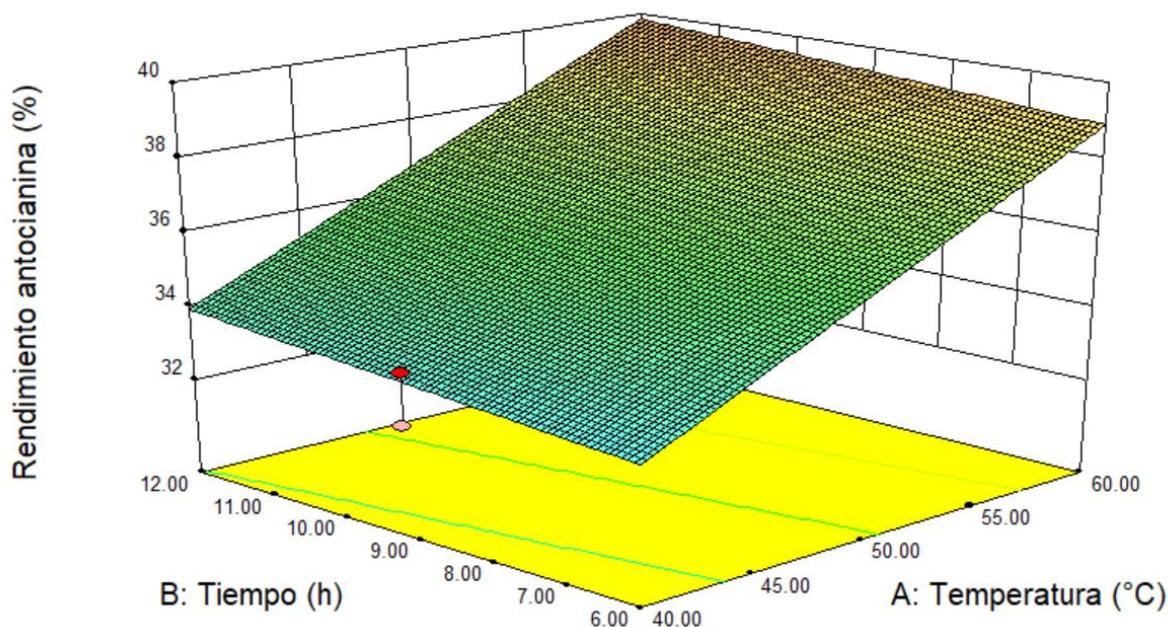


Figura 16. Rendimiento antocianina

10.2.2. Rendimiento de polifenoles

La Tabla 12 muestra la significación de los análisis de varianza de la regresión y de los coeficientes estimados para los rendimientos de Polifenoles. Los valores de R2 indicaron que

los modelos ajustados explican el 99,8 y 99,5 % de la variabilidad de las Antocianinas y Polifenoles, respectivamente.

Tabla 12. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento de polifenoles

Indicador	Rendimiento polifenoles (%)
Intercepto	68,94
X_{TEE}	7,22*
X_{TIE}	1,56*
X_{RMD}	1,63*
X_{CPF}	2,30*
R^2	0,9053
R^2 ajustado	0,8872
R^2 predicho	0,8496
F modelo	48,30*
F falta de ajuste	1,92
Precisión adecuada	22,73

TEE: Temperatura de extracción

TIE: Tiempo de extracción

RMD: Relación masa/disolvente

CPF: Concentración de etanol

*Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Todos los factores incidieron ($p \leq 0,05$) sobre el Rendimiento de Polifenoles. La ecuación del modelo es:

$$RPT = 65,4633 - 3,8912A - 4,0323B + 16,7994C + 7,9984D + 3,6731AB + 3,9694AC - 0,1551AD - 2,8658BC + 0,334BD - 2,5331CD + 0,4401A^2 - 4,3916B^2$$

donde A: porcentaje de etanol, B: tiempo de extracción, C: relación masa/disolvente y D: temperatura.

Al analizar los coeficientes se observa que el término de la relación masa/disolvente tiene mayor influencia sobre la variable dependiente, seguido por el término de la temperatura. En relación a los signos de los coeficientes, se aprecia que el rendimiento de Polifenoles aumenta a medida que aumenten la relación masa/disolvente y temperatura.

Los mayores rendimientos de polifenoles se alcanzaron a 60 °C para disoluciones hidroalcohólicas entre 85 y 95 % (m/v), con tiempos de extracción entre 6 y 9 h y una relación masa/ disolvente de 3 g por cada 5 ml. De forma similar, se informó (21) una mayor eficiencia del proceso de extracción de PT a partir de la coronta de maíz negro con una disolución hidroalcohólica al 95 % (m/v), aunque a 30 °C y una relación masa/disolvente de 3 g por cada 19 ml, por lo que las diferencias pudieron relacionarse con las variaciones en la masa/disolvente, factor que resultó significativo ($p \leq 0,05$) en el presente estudio.

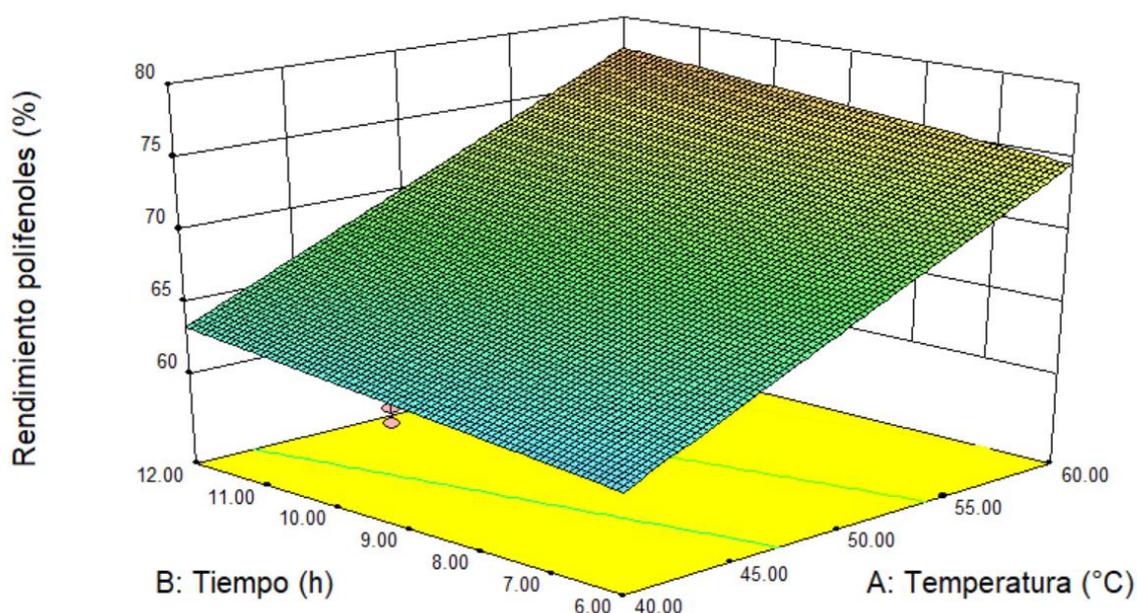


Figura 17. Rendimiento de Polifenoles

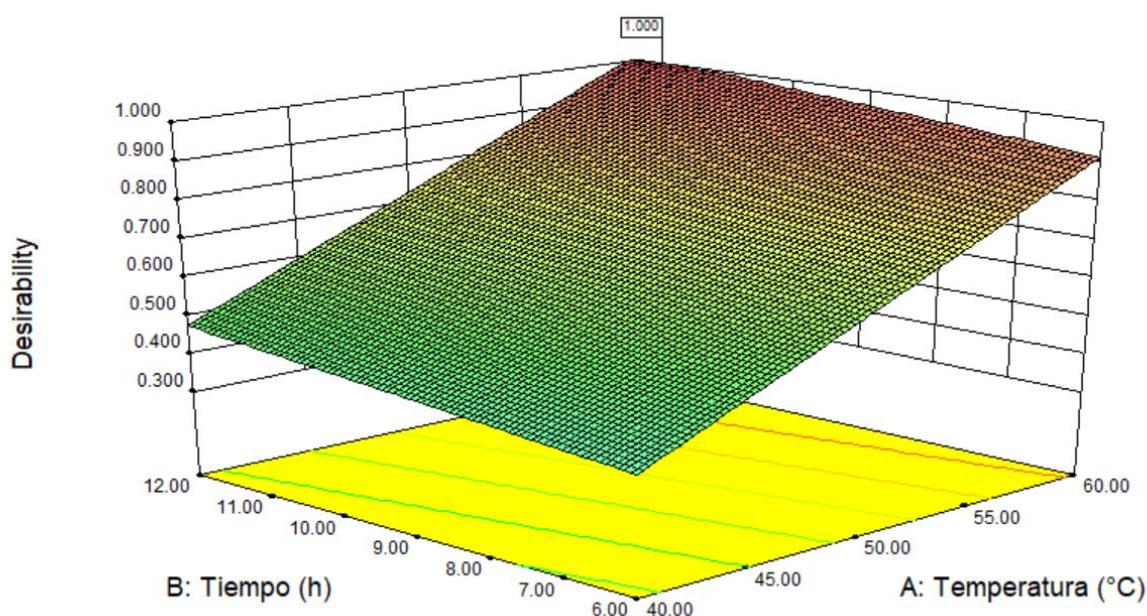
10.2.3. Optimización

La Tabla 13 muestra la matriz experimental para la predicción de la optimización para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz con cuatro factores a estudiar.

Tabla 13. Predicción de la optimización para la evaluación del rendimiento de antocianinas y polifenoles del desecho del maíz.

Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Relación masa/disolvente	Concentración etanol (%)	Rendimiento antocianina (%)	Rendimiento polifenoles (%)	Deseabilidad
59,98	11,64	3,00	94,97	41,45	81,42	1,00

Para la optimización del rendimiento de antocianinas y polifenoles las condiciones que mejor nos presenta el diseño experimental son: temperatura de 59,98°C, un tiempo de 11,64, la relación masa/disolvente de 3 y con una concentración de etanos al 94,97%, abordando los mejores resultados en la realización de la corrida con un rendimiento de antocianinas de un 41,45%, el rendimiento de polifenoles del 81,42%, además de una deseabilidad de 1.



10.3. Coronta de maíz negro acuosa

En la tabla 14 se puede observar los datos obtenidos para los diferentes parámetros en la caracterización física y química del extracto acuoso de antocianina del desecho del maíz (*Zea mays L*)

Tabla 14. Caracterización física y química del extracto acuoso de antocianina del desecho del maíz (*Zea mays L*)

Parámetro	Resultado
pH	4,01

Acidez (% m/m ácido sulfúrico)	0,35
Humedad	97,13
Antocianina (mg/L)*	998,23

*Expresados como equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G).

Al realizar una caracterización del colorante acuoso de la coronta de maíz negro nos indica un valor en su pH de 4,01 que se acerca al 5.5 el cual es considerado neutro para este tipo de colorante por tal motivo su acidez fue de 0,35.

La humedad que presenta fue de 97,13 y esto se debe que al ser una muestra acuosa el contenido de la misma es inmensa.

El contenido total de antocianinas en la muestra acuosa, expresado como cianidina-3-glucosa, fue de 998,23 mg/L.

10.4. Secado por aspersión de la antocianina

Se analizaron las relaciones entre la retención de antocianinas y polifenoles totales, así como el desempeño del proceso de secado con las variables independientes temperatura de entrada del aire y velocidad del flujo de alimentación. Tabla 9 muestra el diseño experimental y los resultados para cada variable.

10.4.1. Secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (*Zea mays L*)

En la presente tabla 15 se puede identificar el modelo experimental utilizado para el secado del extracto de antocianinas del desecho del maíz negro utilizando dos factores y obteniendo resultados de rendimiento, contenido de antocianinas, contenido de polifenoles y el porcentaje de humedad.

Tabla 15. Matriz experimental para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz (*Zea mays L*)

Corrida	Velocidad de flujo de alimentación (ml/h)	Temperatura de aire de entrada (°C)	Rendimiento (%)	Contenido de antocianina (mg/1000g)	Contenido de polifenoles (mg/1000g)	Humedad (%)
1	600,00	170,00	73,23	4320,23	92,76	3,53

2	600,00	160,00	67,87	4190,54	83,67	3,94
3	700,00	170,00	70,02	4256,45	89,89	3,86
4	700,00	150,00	57,12	3980,45	77,77	4,64
5	500,00	150,00	63,78	4196,56	85,34	3,95
6	500,00	170,00	75,12	4602,34	100,23	3,13
7	600,00	160,00	68,12	4234,54	88,24	3,90
8	700,00	160,00	66,89	4086,78	81,34	4,33
9	500,00	160,00	71,12	4430,23	97,43	3,41

Como se puede observar, el mayor contenido de antocianinas y polifenoles totales se obtuvo para 170 °C con 500 ml/h de la velocidad de flujo de alimentación, correspondiente a la corrida 6; además, presentó el rendimiento más alto en secado. Por otro lado, la corrida que no se tomara en consideración por presentar el menor rendimiento es la número cuatro con una temperatura de 150°C y una velocidad de flujo de alimentación de 700 ml/h

Las réplicas del estudio, series 1, 4, 6 y 9, difirieron significativamente en el contenido de antocianinas totales; no así para la retención de polifenoles totales. En el caso del rendimiento de secado, las cuatro corridas presentaron los mayores rendimientos.

El porcentaje de velocidad de flujo de alimentación fue el factor que afectó significativamente la retención de antocianinas y polifenoles totales (Tabla 9), lo que podría estar relacionado con el efecto protector de la maltodextrina durante el secado por aspersión. Además, la maltodextrina evitó la pegajosidad del producto, debido a la presencia de azúcares y ácidos de bajo peso molecular, que tienen una temperatura de transición vítrea (T_g) baja, lo que podría disminuir el rendimiento del proceso. El rendimiento del secado estuvo influenciado por los términos lineal y cuadrático de la temperatura de entrada, este último con mayor significancia.

10.4.2. Modelo codificado para el rendimiento

En la tabla 16 se observa un modelo lineal de parámetros codificados para el rendimiento en la obtención de antocianinas.

Tabla 16. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento

Indicador	Rendimiento (%)
Intercepto	55,48
X_{TAE}	6,00*
X_{VFA}	-2,67*
R^2	0,9539
R^2 ajustado	0,9385
R^2 predicho	0,8696
F modelo	62,04*
F falta de ajuste	67,44
Precisión adecuada	22,61

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

**Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Se observa en la Figura 18 que los mayores valores para el Rendimiento, se obtuvieron para temperaturas de entrada del aire entre 170 °C y una velocidad de flujo de alimentación entre 500 y 600 ml/h.

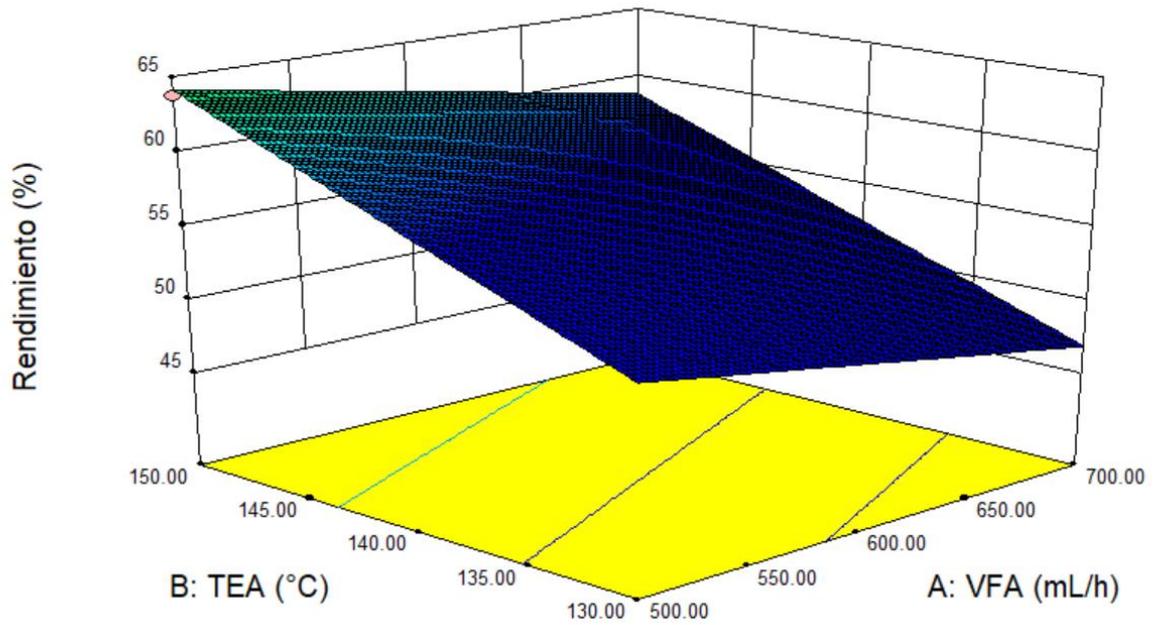


Figura 18. Parámetros del modelo codificado para el rendimiento

10.4.3. Modelo codificado para el contenido de antocianinas

En la tabla 17 se identifica un modelo lineal de parámetros codificados para el contenido de antocianinas obtenidas en el secado del extracto del desecho del maíz negro.

Tabla 17. Parámetros del modelo codificado para el contenido de antocianinas (mg/1000 g)

Indicador	Contenido de antocianinas (mg/1000 g)
Intercepto	3932,92
X_{TAE}	152,73*
X_{VFA}	-150,91*
R^2	0,9379
R^2 ajustado	0,9172
R^2 predicho	0,8323
F modelo	45,31*
F falta de ajuste	3,23
Precisión adecuada	19,99

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

**Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Se observa en la Figura 19 que los mayores valores para el contenido de Antocianinas, se obtuvieron para temperaturas de entrada del aire entre 170 °C y una velocidad de flujo de alimentación entre 500 y 600 ml/h.

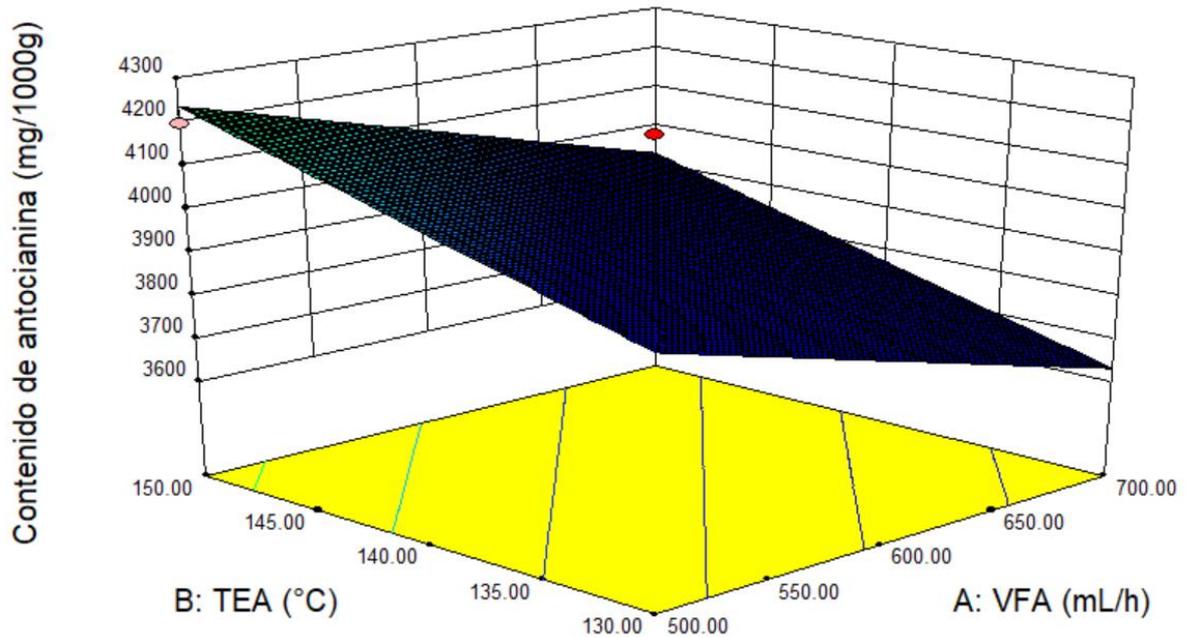


Figura 19. Parámetros del modelo codificado para el contenido de antocianinas (mg/1000 g)

10.4.4. Modelo codificado para el contenido de polifenoles

En la tabla 18 se puede identificar un modelo lineal para el contenido de polifenoles en el extracto del desecho del maíz negro.

Tabla 18. Parámetros del modelo codificado para el contenido de polifenoles (mg/1000 g)

Indicador	Contenido de polifenoles (mg/1000 g)
Intercepto	75,02
X_{TAE}	6,39*
X_{VFA}	-5,67*

R^2	0,8976
R^2 ajustado	0,8635
R^2 predicho	0,7806
F modelo	26,30*
F falta de ajuste	0,66
Precisión adecuada	15,30

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

**Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Se observa en la Figura 20 que los mayores valores para el contenido de Polifenoles totales se obtuvieron para temperaturas de entrada del aire entre 170 y 180 -C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h.

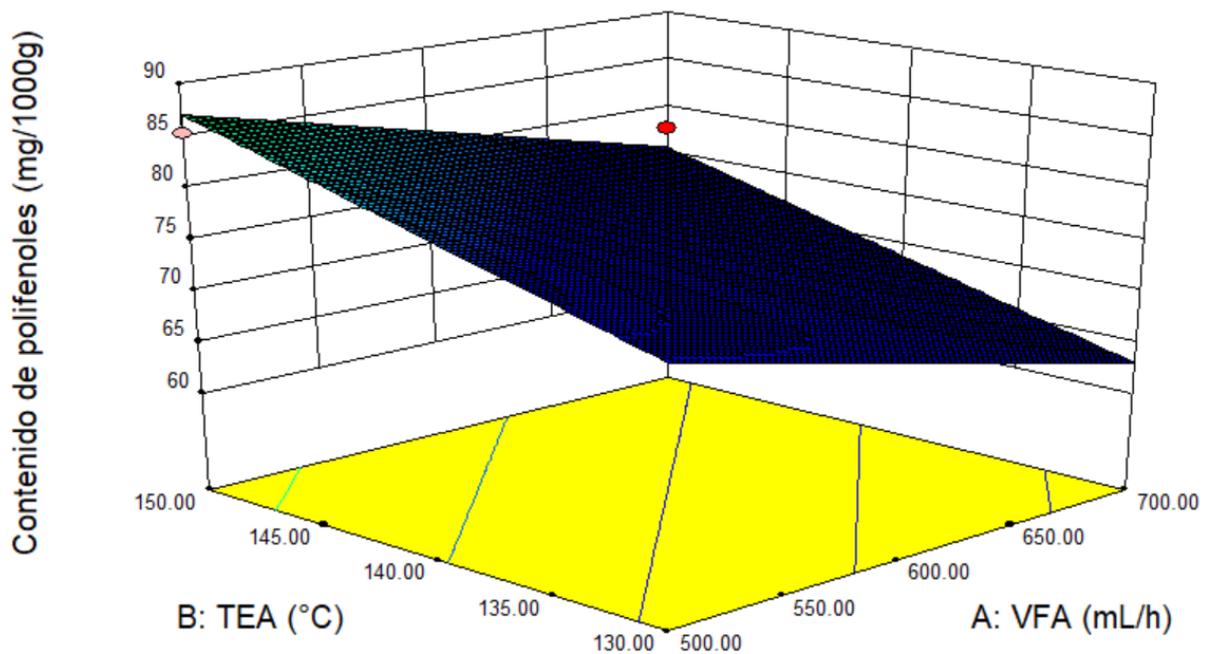


Figura 20. Parámetros del modelo codificado para el contenido de polifenoles (mg/1000 g).

10.4.5. Modelo codificado para el contenido para humedad

La tabla 19 nos indica un modelo lineal codificado para el contenido de humedad obtenido en el extracto del desecho del maíz negro.

Tabla 19. Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad.

Indicador	Humedad (%)
Intercepto	4,69
X_{TAE}	-0,39*
X_{VFA}	0,39*
R^2	0,9886
R^2 ajustado	0,9848
R^2 predicho	0,9713
F modelo	259,73*
F falta de ajuste	4,62
Precisión adecuada	47,87

TAE: temperatura de aire de entrada

VFA: velocidad de flujo de alimentación

*Valor significativo para $p \leq 0,05$.

**Valor significativo para $p \leq 0,01$.

Se observa en la Figura 21 que los mayores valores para el contenido de humedad se obtuvieron para temperaturas de entrada del aire entre 160 y 170 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h.

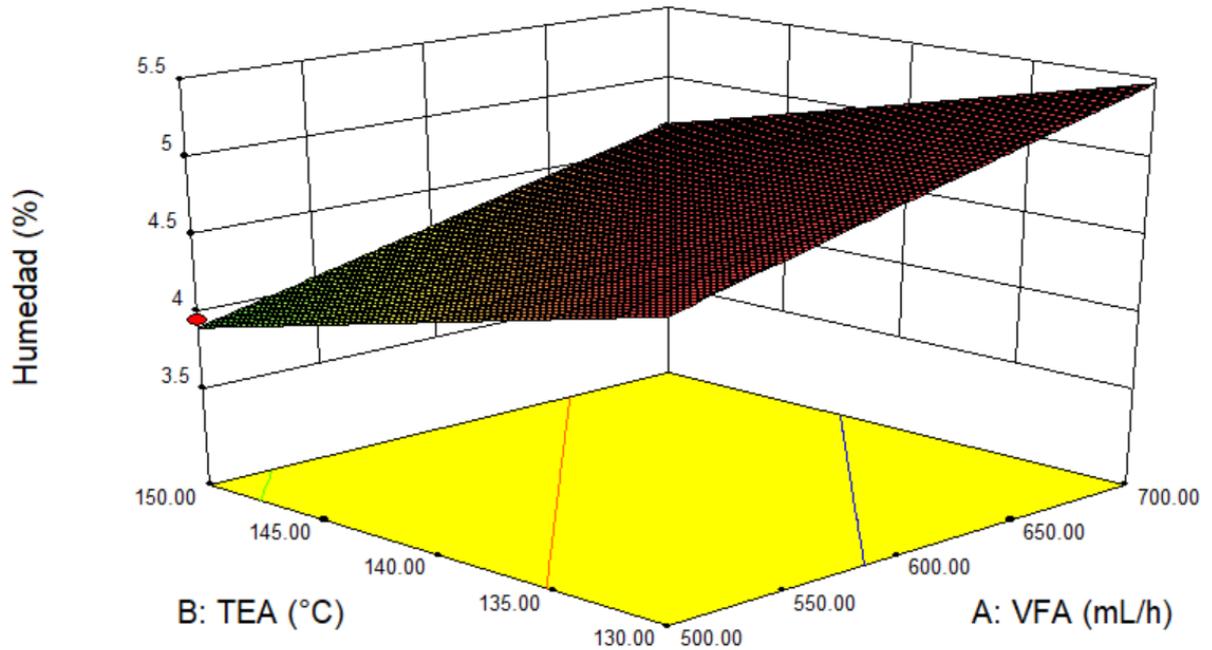


Figura 21. Parámetros del modelo codificado para el contenido para humedad

10.5.Optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.

En la tabla 20 se puede identificar un modelo de optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz, tomando en cuenta dos factores y obteniendo el rendimiento, contenido de polifenoles, contenido de antocianinas, humedad y una deseabilidad.

Tabla 20. Predicción de la optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.

TAE (°C)	VFA (mL/h)	Rendimiento (%)	Contenido de antocianina (mg/1000 g)	Contenido de polifenoles (mg/1000 g)	Humedad (%)	Deseabilidad
170	500	76,14	4542,01	99,87	3,11	0,971

En las corridas para el secado del extracto de antocianinas del desecho del maiz negro los mejores datos obtenidos fueron en condiciones de temperaturas de entrada del aire de 170 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h, abortando un rendimiento del 76.14%, un contenido de antocianinas de 4542,01 mg/1000g, un contenido de polifenoles del 99,87 mg/1000g, un porcentaje de humedad de 3,11 además, de una deseabilidad del 0,971.

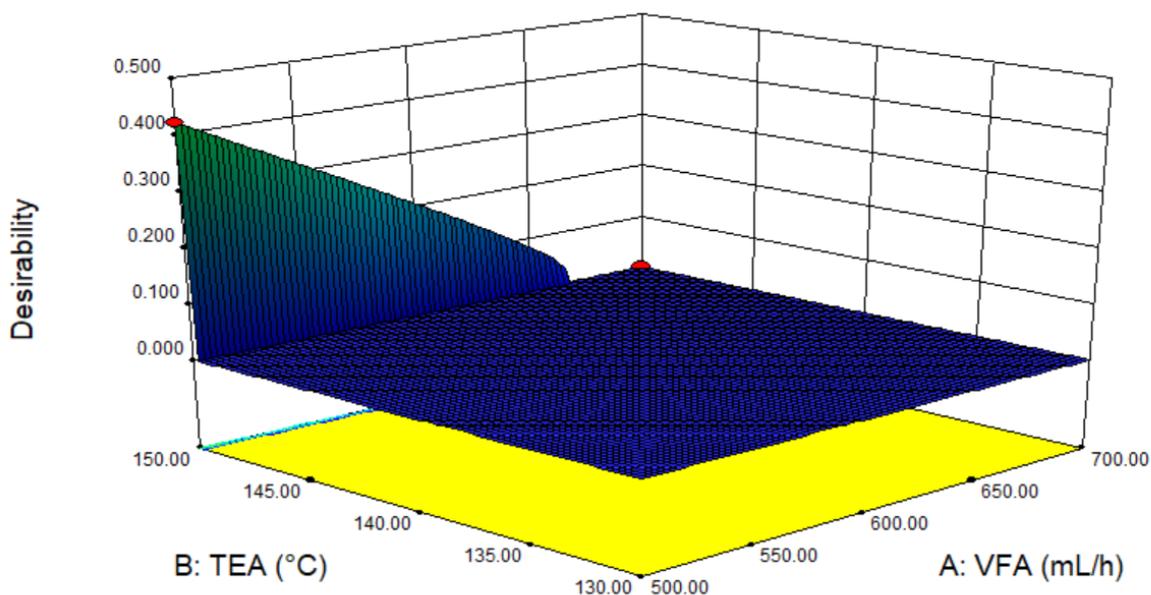


Figura 22. Predicción de la optimización para el secado del extracto de antocianina del desecho del maíz.

Los resultados de los diferentes indicadores físicos que se determinaron al colorante en polvo coronta de maíz negro obtenidos con los parámetros optimizados se presentan en la Tabla 22.

El contenido de humedad es una propiedad importante de los productos en polvo y está relacionada con la eficiencia del secado. El contenido de humedad del colorante fue de 3.09% el cual fue similar a los datos reportados por Santhalakshmy et al. de 3,22 a 4,18% para polvos.

10.6. Características del colorante optimizado de residuos de maíz negro (*Zea mays L*)

En la tabla 21 se puede identificar los resultados de cada parámetro evaluado en la caracterización del colorante optimizado de residuo de maíz negro

Tabla 21. Características del colorante optimizado de residuos de maíz negro (*Zea mays L*)

Parámetro	Resultados
Humedad %	3,09
Densidad aparente (g/ml)	0,34
Densidad compactada (g/ml)	0,53
Higroscopia %	15,23
Solubilidad %	68,89
Rendimiento %	78,12

Índice de Carr	35,84
Índice de Hausner	1,55

La densidad aparente del colorante en polvo fue de 0,34 g/ml, valor referente al reportado por Santhalakshmy et al. de 0,25 g/ ml. La temperatura de entrada no afectó esta propiedad. Cuanto menor es la densidad aparente, más aire queda atrapado dentro de los polvos, lo que se traduce en una mayor posibilidad de oxidación del producto y menor estabilidad durante el almacenamiento. La densidad compactada del colorante nos arroja un valor de 0,53 g/ml.

La higroscopicidad del colorante fue del 15.23%; el cual varía al 25,33 y 25,35% informado por Santhalakshmy et al. (2015) y Arrazola et al. (2014) para temperaturas de entrada de aire de 160 y 170 °C, respectivamente. Mientras que Begum y Deka informaron de un valor cercano, pero más alto (28,89%), para los mismos tiempos de estudio y tipo de coronta. Además, este valor alejado a los autores se puede dar por el medio al cual fue sometido la muestra para su proceso.

La solubilidad del polvo fue de 68,89% el cual influirá en determinados procesos industriales en los que se pretende incorporar el polvo a una fase acuosa. Mientras que su rendimiento fue de 78,12 % lo cual nos arroja un valor favorable en su proceso de secado.

La fluidez (índice de Carr) y la cohesividad (índice de Hausner) son propiedades de los productos en polvo que están relacionadas entre sí, ya que a mayor cohesividad, menor fluidez. La fluidez del colorante fue del 35.84 % y el índice de Hausner fue de 1.55; Según ambos indicadores, el polvo presentó poca fluidez, por lo que el colorante a base de la coronta de maíz negro se caracterizó por ser altamente cohesivo. La cohesión de los polvos determina su consistencia y propiedades de fluidez; así, una menor cohesión permitirá una mejor fluidez de los polvos

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

11.1. Impactos Técnicos

El impacto técnico es positivo, ya que puede proporcionar información para el

fortalecimiento de tecnologías dentro de procesos agroindustriales de tal manera amplía el campo de la creación e innovación de nuevos productos utilizando todas las propiedades que

posee la coronta de maíz negro (*Zea Mays L*). Abriendo nuevas puertas a tecnologías reemplazando las tradicionales aprovechando en lo máximo las fuentes naturales.

11.2. Impactos Sociales

Esta investigación puede generar nuevas formas de utilización e industrialización de colorante de la tusa de maíz negro. Además, como el uso de antocianinas puede utilizarse en la aplicación de productos alimenticios de tal manera llegando a una comercialización del 99% de la coronta de maíz negro (*Zea Mays L*).

11.3. Impacto económico

Una vez concluido el proyecto de investigación genero un impacto positivo debido que beneficiara a la Asociación Virgen del Tránsito y a lugares que se dediquen a la siembra y cosecha de maíz negro lo cual generaría nuevas fuentes de ingresos ya que se aprovecharía la totalidad de la materia prima sin dejar ningún tipo de residuo de esta manera generando mayores ingresos económicos

12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En la presente tabla se evidencia los costos y gastos llevados a cabo en el proyecto de investigación.

Tabla 22: Presupuesto de la elaboración del proyecto.

Recursos	Cantidad	U.M	Valor Unitario \$	Valor total \$
Equipos				
Balanza Analítica (0,0001g)	1	U	21	21
Rotavapor	1	U	3.636	3.636
Procesador de alimentos	1	U	296	296
Materiales y suministros			Total	3953
Balones aforados vidrio	2	U	100	200
Matraz Erlenmeyer de vidrio 500 mL	1	U	4.50	4.50
Pinzas	1	U	5	5
Papel filtro	1	U	5	5
Vasos de precipitación 250 mL	5	U	3	15
Reactivos			Total	229.5
Agua destilada	5	L	2	10
Etanol al 96 %	2	G	12	24
Material bibliográfico y fotocopias			Total	34
Esferos	3	U	0,45	1,35

Impresiones	200	U	0,15	30
Anillados	4	U	7	21
CD	1	U	2	2
Gastos varios			Total	54.35
Internet	90	h	0,50	45
Pasajes	28	días	4.50	126
Alimentación	28	días	2.25	63
Materia prima			Total:	234
Malto Dextrina	1	kg	5	5
Coronta de maíz negro	5	kg	3	15
TOTAL: 4224,35			Total	20

13. CONCLUSIONES

- Al culminar el proyecto de investigación se observa que los datos en la caracterización de la coronta de maíz negro deshidratado presentan un 12,34% de ceniza mientras que en su humedad presenta un 8,82%, además, que para su respectivo proceso nos arroja un valor de 280,34 mg/L de antocianina y al realizar su respectiva comparación se nota que existe una semejanza significativa.
- En la obtención de antocianinas de la coronta de maíz negro las condiciones óptimas tanto para el rendimiento de polifenoles y el rendimiento de antocianinas fue a una temperatura de 59,98 °C por un tiempo de 11,64 h con una relación masa/disolvente de 3 a una concentración de 94,97%, donde se obtuvieron datos predichos del rendimiento de antocianinas del 41,45% y el rendimiento de polifenoles del 81,42%.
- Al realizar la evaluación fisicoquímica del colorante del maíz negro acuoso se pueden determinar características esenciales tales como su pH de 4,01, su acidez de 0,35. La humedad que presenta fue de 97,13 y el contenido total de antocianinas en la muestra acuosa, expresado como cianidina-3-glucosa, fue de 998,23 mg/L. Mientras que para la optimización del colorante en polvo su densidad aparente es de 0,34 g/ml, la densidad compactada del colorante nos arroja un valor de 0,53 g/ml, la higroscopicidad del colorante del 15.23%, la solubilidad del polvo de 68,89%, su rendimiento de 78,12 %, la fluidez del colorante fue del 35.84 % y el índice de Hausner fue de 1.55.
- Se obtuvo el colorante en polvo predicho utilizando las condiciones de la velocidad del flujo de alimentación de 500ml/h y la temperatura de aire de entrada de 170°C donde nos arroja valores del rendimiento de 76,14%, un contenido de antocianinas de 4542,01 mg/1000g, un contenido de polifenoles de 99,87 mg/1000g además de 3,11% de humedad con una deseabilidad de 0,971.

13.1. RECOMENDACIONES

- Colocar en una cantidad mayor de tiempo en la estufa de tal manera los porcentajes de humedad y ceniza para que obtengan un peso en un menor tiempo de tal manera esto nos ayudaría a reducir el número de corridas.
- Para la obtención de antocianinas se recomienda mejorar el proceso de extracción del mismo ya que al realizar varias corridas en el rotavapor la muestra seguía presentando un olor característico de etanol por tal motivo se produjo un retrasó al enviar la muestra al laboratorio para realizar el secado por aspersion.
- Utilizar el diseño para obtener la corrida que nos proporcione el rendimiento de polifenoles y antocianinas.
- El diseño materializado en este proyecto de investigación servirá como base para futuros estudios respecto a la obtención de un colorante natural, por tal motivo se puede tomar una decisión adecuada sobre la nueva muestra con lo cual se desea mejorar el rendimiento de antocianinas y polifenoles en un 75% con respecto a anteriores tesis.

14. BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- Almeida, J. (Junio de 2012). *EXTRACCION Y CARACTERIZACION DEL COLORANTE NATURAL DEL MAIZ NEGRO (ZEA MAYS L) Y DETERMINACION DE SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE*. Obtenido de Escuela Politecnica Nacional: file:///C:/Users/pc/Downloads/CD-4367%20(1).pdf
- Astrid , G. (Septiembre de 2008). *LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS: REVISIÓN*. Bogota, Colombia: Scielo.
- Casanova, M. (2013). *SECADO POR ASPERSION DE JUGOS DE FRUTAS: EFECTO DE LAS*. 59. Santiago de Cali, Cali, Colombia: Universidad del Valle. Recuperado el 29 de Enero de 2024, de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/d0458f01-5a5e-452c-9c4b-0e940e050cbc/content>

- Choperena, E. (12 de Noviembre de 2019). Las variedades de maíz oaxaqueño y sus 35 razas. *Animal Gourmet*. Obtenido de <https://www.animalgourmet.com/2019/11/12/maiz-oaxaqueño-variedades-itanoni/>
- Cubero et al. (2002). *Aditivos alimentarios*. Madrid España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Díaz, C., Pesántez, M., & Castro, L. (06 de Abril de 2017). Extracción de antocianinas en maíz negro cultivado en Tunshi-Chimborazo sometido a diferentes tratamientos térmicos para escaldado. *16(4)*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Recuperado el 30 de Enero de 2024, de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/539>
- Durst, R., & Wrolstad, R. (2001). Separación y caracterización de antocianinas por HPLC. *45*, 33. New Jersey, USA: Handbook of Food Analytical Chemistry.
- Elisa, C. C. (Julio de 2018). *EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DE DOS PRODUCTOS*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/QF1490.pdf>
- Escalante, A. (Diciembre de 2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados. Queretaro, Mexico: Scielo.
- Guerrero Rojas, O. D. (2023). *EVALUACIÓN DE TRES TECNOLOGÍAS EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ NEGRO (Zea mays L.) INIAP 199 RACIMO DE UVA EN EL CAMPUS CEASA, COTOPAXI 2023*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10955/1/PC-003046.pdf>
- Herrera Quiñones, X. d. (9 de Agosto de 2016). Evaluación del extracto de flavonoles y antocianinas contenidos en el agraz (*Vaccinium Meridionale Swartz*) obtenidos a nivel laboratorio por medio de los métodos de extracción por solventes y extracción asistida por microondas. Bogota, Colombia: Fundación Universidad de América.
- Hipatia, G. M. (2013). *OBTENCIÓN DE UN COLORANTE A PARTIR DE LAS FLORES*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6635/1/BQ%2044.pdf>
- Leon, C. (1968). Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la O.E.A.

- Mahikari, S. (2020). *Evaluación de 04 genotipos de maíz morado (Zea mays l), en dos localidades: distrito de Cutervo, provincia de Cutervo y en el distrito de Lajas, provincia de Chota, región Cajamarca*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO : <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10057>
- Ortiz, k. (2013). Elaboración de un sorbete a base de harina de maíz morado (Zea mays L) mezclado con bacterias lácteas naturales. *Scielo*. Obtenido de Universidad Dr. José Matías Delgado.: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172014000400005&script=sci_arttext
- Otiano, V. (2012). *Actividad antioxidante de antocianinas presentes en la coronta y grano de maíz (Zea mays L.)*. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo: <file:///C:/Users/pc/Downloads/Dialnet-CharacteristicsAndFunctionalPropertiesOfPurpleCorn-5113795.pdf>
- Padial, M. (2009). La química está en todas partes. *Revista digital ciencia y didáctica*, 105-123.
- Perez, G. (2005). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales: mucho más que simples “colorantes” naturales. *DIGITAL.CSIC* , 108-113.
- Proquimac. (18 de Abril de 2016). *Colorantes Naturales*. Obtenido de <http://www.proquimac.com/es/farmacia:CosFoodandPharma/farmacia:colorantesnatur/6>
- Proyectacolor. (2011). El modelo CIE WYZ. Obtenido de <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-cie/>
- Quinteros, R., Mariano , G., & Lopez, A. (2002). *Biotechnología alimentaria*. Mexico, Mexico: Limusa.
- Salvador, B. D. (2016). *Química de los alimentos* . Obtenido de México, Pearson Educación: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e27c7770-6090-4768-94de-bb18ee244aed/content>
- Torres Gómez, P. F. (2018). *El despanojado en el índice de tinción en la tusa de maíz morado (Zea mays L.)*. Obtenido de Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga: <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3097>
- Vela, E. (Marzo de 2011). *El Maiz*. 38(17), 7. Mexico: Arqueología Mexicana.

Yanez et al. (2017). *Repositorio Digital INIAP*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4618>

Zambrano Mendoza , J. L., & Velásquez Carrera, J. S. (Diciembre de 2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana*. Obtenido de Repositorio Digital INIAP : <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>