

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, septiembre 24 del 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
 Neiva

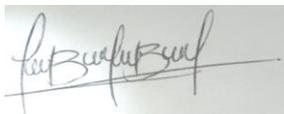
Los suscritos:

LEIDY BANESSA LUNA BERNAL con C.C. No. 1.083.908.577 y LIZ NATALY ESCOBAR MORENO, con C.C. No. 1.083.909.802, autores del trabajo de grado titulado Caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) afectados por el hongo *Fusarium* sp. para aprovechamiento industrial, presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de Ingenieras Agrícolas; autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacional e internacional “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:
LEIDY BANESSA LUNA BERNAL
 Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE:
LIZ NATALY ESCOBAR MORENO
 Firma:



	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

Título completo del trabajo: Caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) afectados por el hongo *Fusarium* sp. Para aprovechamiento industrial.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Escobar Moreno	Liz Nataly
Luna Bernal	Leidy Banessa

JURADOS TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Girón Hernández	Joel
Amorocho Cruz	Claudia Milena

DIRECTOR:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Martínez Castro	Víctor Manuel

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2018

NÚMERO DE PÁGINAS: 98

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X
 Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos___
 Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

Palabras claves en español e inglés:

Español

1. Identificación microbiológica
2. Compuestos funcionales
3. Aprovechamiento subproductos
4. Usos industriales

Inglés

- Microbiological identification
 Functional compounds
 Use of byproducts
 Industrial uses

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se realizó el análisis microbiológico para corroborar que el agente causal de la pudrición basal de frutos de pitahaya es *Fusarium*, se desarrollaron pruebas físicas y químicas como acidez titulable, sólidos solubles y pH a los diferentes estados de maduración tomando como referencia la Tabla de Color de la Norma Técnica Colombiana 3554. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico con el que se seleccionó los estados 3 y 6, a los que se les desarrolló pruebas complementarias como pectina, fenoles totales, actividad antioxidante, fibra, cenizas y contenido de aceite.

Se confirmó que el agente causal de la pudrición basal en los frutos analizados es *Fusarium oysporum*, afectando la cáscara y pulpa, a excepción de las semillas. Por tanto, las fracciones afectadas no pueden ser utilizadas con fines alimenticios. De acuerdo al análisis de las pruebas químicas complementarias realizadas a los estados 3 y 6, la cáscara presentó un contenido de pectina que vario entre 10.43% a 14.80%, las semillas de los frutos presentaron un contenido de cenizas totales de 3.1% a 3.6%, contenido de aceite con valores de 29.28% a 34.63%, también presentaron alto contenido de compuestos fenólicos que variaron de 31.99 a 34.87 mg ácido gálico/g de muestra, las semillas presentaron un contenido de fibra de 1.21 a 1.26 g/100 g muestra, asimismo, gracias a su elevada actividad antioxidante de 1651.04 a 1873.27 (EC₅₀ ppm) lo que hace a los frutos de pitahaya amarilla un gran potencial para aprovechamiento industrial.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The microbiological analysis was carried out to corroborate that the causal agent of the basal rot of pitahaya fruits is *Fusarium*, physical and chemical tests were developed such as titratable acidity, soluble solids and pH at the different maturity stages taking as reference the Color Table of Colombian Technical Standard 3554. With the results obtained, a statistical analysis was performed with which states 3 and 6 were selected, to which complementary tests were developed such as pectin, total phenols, antioxidant activity, fiber, ash and oil content.

It was confirmed that the causal agent of the basal rot in the fruits analyzed is *Fusarium oysporum*, affecting the skin and pulp, except for the seeds. Therefore, the affected fractions can not be used for food purposes. According to the analysis of the complementary chemical tests carried out in states 3 and 6, the peel presented a pectin content that varied between 10.43% to 14.80%, the seeds of the fruits presented a total ash content of 3.1% to 3.6% , oil content with values of 29.28% to 34.63%, also showed high content of phenolic compounds that varied from 31.99 to 34.87 mg gallic acid / g sample, the seeds had a fiber content of 1.21 to 1.26 g / 100 g sample , also, thanks to its high antioxidant activity from 1651.04 to 1873.27 (EC50 ppm) which makes the yellow pitahaya fruits a great potential for industrial use.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado
JOEL GIRÓN HERNÁNDEZ

Firma:



Nombre del jurado
CLAUDIA MILENA AMOROCHO CRUZ

Firma:



**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS FRUTOS DE PITAHAYA
AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) AFECTADOS POR EL HONGO *Fusarium* sp.
PARA APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL**

**LEIDY BANESSA LUNA BERNAL
LIZ NATALY ESCOBAR MORENO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRÍCOLA
PITALITO-HUILA**

2018

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS FRUTOS DE PITAHAYA
AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) AFECTADOS POR EL HONGO *Fusarium*
sp. PARA APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL**

**LEIDY BANESSA LUNA BERNAL
LIZ NATALY ESCOBAR MORENO**

Proyecto de grado presentado a la facultad de ingeniería como requisito parcial para optar al
título de Ingeniero Agrícola.

DIRECTOR

VICTOR MANUEL MARTINEZ CASTRO
Ing. Agrícola. MSc. Ingeniería Agroindustrial.

CO-DIRECTOR

LILIANA MARCELA MORENO TURRIAGO
Ing. Agroindustrial. MSc. Ciencias Agroalimentarias.

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRÍCOLA
PITALITO-HUILA**

2018

Nota de aceptación



Firma del Director
VÍCTOR MANUEL MARTÍNEZ CASTRO
MSc. Ingeniería Agroindustrial



Firma del Jurado
JOEL GIRÓN HERNÁNDEZ
Dr. Ciencia e Ingeniería de Alimentos



Firma del Jurado
CLAUDIA MILENA AMOROCHO CRUZ
Dra. Biotecnología

AGRADECIMIENTOS

Durante los últimos cinco años nos hemos encontrado diferentes personas que de una u otra forma han aportado para que nuestro sueño se haga realidad y el trabajo realizado tenga su fruto, hoy quisiéramos agradecer todo su apoyo y tiempo dedicado en el transcurso de estos años.

Principalmente a Dios que nos permitió alcanzar nuestros sueños, llenándonos de sabiduría, paciencia, conocimiento, salud y fortaleza.

También a nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional, dedicación y cariño, por estar presentes en esta etapa tan importante de nuestras vidas, aportando a nuestra formación como personas integras, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

De igual forma agradecemos a la Universidad Surcolombiana por permitirnos ser parte de ella, también a cada uno de los docentes que nos brindaron sus conocimientos, a nuestros compañeros por su amistad y apoyo durante la carrera, también agradecemos a nuestro director de tesis el Ing. Víctor Manuel Martínez Castro, por guiarnos durante el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

Asimismo, al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Tecnoparque Nodo Pitalito y a la asociación de Productores de Pitahaya Amarilla APROPIT por facilitarnos sus instalaciones, equipos y materia prima necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Por último, pero sin duda en lugar preferente, a la gestora Liliana Marcela Moreno por la paciencia, tiempo invertido, dedicación y conocimiento brindado durante estos últimos meses de intenso trabajo.

DEDICATORIA

LEIDY BANESSA LUNA BERNAL

Dedico este proyecto a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por su infinito amor, por darme sabiduría, fortaleza y salud para lograr mis objetivos.

*A mis padres María Ligia Bernal y Carlos Reinel Luna
Por darme la vida, por estar a mi lado en cada momento, por ser mi apoyo, mi motivación, por sus consejos y valores inculcados, por ser mi ejemplo de perseverancia y constancia*

A mis hermanos Carlos Daniel Luna y Johan David Jiménez por su amor y compañía

LIZ NATALY ESCOBAR MORENO

Dedico este proyecto principalmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir, por darme salud y bendiciones para alcanzar mis metas como persona y como profesional

A mis padres Arturo Escobar Martínez y Rosalba Moreno Villamizar por su apoyo incondicional a través del tiempo, por sus valiosos consejos, por estar conmigo en cada paso que doy, velando por mi bienestar y educación en todo momento

A mis hermanos, Anny Jennifer Escobar y Oscar David Escobar, por estar conmigo y apoyarme siempre, a mi sobrino Juan David Mejía, para que vea en mí un ejemplo a seguir

A Milagro, por su valiosa compañía

RESUMEN

En Colombia, el cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es de gran importancia económica debido a que presenta gran potencial. Sin embargo, ha sido afectado por enfermedades como la pudrición basal, generada por especies del género *Fusarium*, con mayor frecuencia *Fusarium oxysporum*, ocasionando pérdidas económicas a los agricultores, al igual que problemas de contaminación en el ecosistema, por ser una fuente adecuada para la proliferación del hongo. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue realizar la caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla afectados por el hongo *Fusarium*, con el fin de aprovechar los frutos desechados en el proceso de poscosecha, proponiendo alternativas para el desarrollo de productos de tipo agroindustrial, para así reducir las pérdidas y evitar la proliferación del hongo.

Se realizó el análisis microbiológico para corroborar que el agente causal de la pudrición basal de estos frutos pertenezca al género *Fusarium* y establecer las fracciones del fruto en las que se encuentra presente, posteriormente se desarrollaron pruebas físicas y químicas como acidez titulable, sólidos solubles y pH a los diferentes estados de maduración tomando como referencia la Tabla de Color de la Norma Técnica Colombiana 3554. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico con el que se seleccionó los estados 3 y 6, a los que se les desarrolló pruebas complementarias como pectina, fenoles totales, actividad antioxidante, fibra, cenizas y contenido de aceite.

Se confirmó que el agente causal de la pudrición basal en los frutos analizados pertenece al género *Fusarium*, especie *oxysporum*, afectando la cáscara y pulpa, a excepción de las semillas. Por tanto, las fracciones afectadas no pueden ser utilizadas con fines alimenticios, de igual forma, se analizó que las propiedades físicas y químicas preliminares, no presentaron alteraciones significativas con respecto a frutos sanos, con valores de sólidos solubles de 11.3 a 17 °Brix, pH 4.1 a 5.0 y acidez titulable de 0.0165% a 0.033%. De acuerdo al análisis de las pruebas químicas complementarias realizadas a los estados 3 y 6, la cáscara presentó un contenido de pectina que varío entre 10.43% a 14.80%, siendo una fuente con potencial para la elaboración de bioplástico derivado de pectina, por otra parte, las semillas de los frutos presentaron un contenido de cenizas totales de 3.1% a 3.6%, contenido de aceite con valores de 29.28% a 34.63%, lo que la hace un gran potencial para aprovechamiento industrial, también presentaron alto contenido de compuestos fenólicos que variaron de 31.99 a 34.87 mg ácido gálico/g de muestra, siendo una materia prima ideal para la elaboración de bebidas nutraceuticas enriquecidas con compuestos fenólicos nanoencapsulados, de igual forma, las semillas presentaron un contenido de fibra de 1.21 a 1.26 g/100 g muestra, por lo que se plantea la elaboración de cápsulas de fibra extraída de las semillas de pitahaya para regulación intestinal, asimismo, gracias a su elevada actividad antioxidante de 1651.04 a 1873.27 (EC₅₀ ppm) es una materia prima ideal para potencializar las propiedades funcionales de otros alimentos y productos procesados.

Palabras clave: Identificación microbiológica, compuestos funcionales, aprovechamiento subproductos, usos industriales.

ABSTRACT

In Colombia, the cultivation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) is of great economic importance because it has great potential. However, it has been affected by diseases such as basal rot, generated by species of the genus *Fusarium*, most frequently *Fusarium oxysporum*, causing economic losses to farmers, as well as contamination problems in the ecosystem, as it is an adequate source for proliferation of the fungus.

Therefore, the main objective of this research was to perform the physicochemical characterization of yellow pitahaya fruits affected by the fungus *Fusarium*, in order to take advantage of the fruits discarded in the post-harvest process, proposing alternatives for the development of products of type agroindustrial, in order to reduce losses and prevent the proliferation of the fungus.

The microbiological analysis was carried out to corroborate that the causal agent of the basal rot of these fruits belongs to the genus *Fusarium* and establish the fractions of the fruit in which it is present, later physical and chemical tests were developed such as titratable acidity, soluble solids and pH to the different stages of maturation taking as reference the Color Table of the Colombian Technical Standard 3554. With the obtained results, a statistical analysis was carried out with which states 3 and 6 were selected, to which complementary tests were developed as pectin, total phenols, antioxidant activity, fiber, ash and oil content.

It was confirmed that the causal agent of the basal rot in the fruits analyzed belongs to the genus *Fusarium*, species *oxysporum*, affecting the skin and pulp, except for the seeds. Therefore, the affected fractions can not be used for food purposes, likewise, it was analyzed that the preliminary physical and chemical properties did not show significant alterations with respect to healthy fruits, with soluble solids values of 11.3 to 17 ° Brix, pH 4.1 to 5.0 and titratable acidity from 0.0165% to 0.033%. According to the analysis of the complementary chemical tests carried out at states 3 and 6, the peel presented a pectin content that varied between 10.43% to 14.80%, being a source with potential for the elaboration of pectin-derived bioplastic, on the other hand, the seeds of the fruits presented a total ash content of 3.1% to 3.6%, oil content with values of 29.28% to 34.63%, which makes it a great potential as an oilseed for the industrial use, also presented high content of phenolic compounds that varied from 31.99 to 34.87 mg gallic acid / g sample, being an ideal raw material for the preparation of nutraceutical drinks enriched with phenolic compounds nanoencapsulados, likewise, the seeds had a fiber content of 1.21 to 1.26 g / 100 g sample, so the elaboration of fiber capsules extracted from the seeds of pitahaya for intestinal regulation is considered, likewise, thanks to its high antioxidant activity from 1651.04 to 1873.27 (EC50 ppm) it is an ideal raw material to potentiate the functional properties of other foods and processed products.

Key words: Microbiological identification, functional compounds, use of byproducts, industrial uses

CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. MARCO REFERENCIAL	18
3.1. Generalidad de Pitahaya Amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).....	18
3.1.1. Origen y taxonomía.....	18
3.1.2. Descripción botánica.....	19
3.1.3. Manejo y requerimientos del cultivo	21
3.1.4. Composición química	22
3.1.5. Caracterización fisicoquímica y nutricional de la Pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).....	23
3.1.6. Usos e industrialización	24
3.1.7. Índices de madurez	25
3.1.8. Plagas y enfermedades	27
3.2. Género <i>Fusarium</i>	29
3.2.1. Patogenicidad.....	30
3.2.2. Taxonomía de <i>Fusarium</i>	31
3.2.3. <i>Fusarium oxysporum</i>	32
3.2.4. <i>Fusarium oxysporum</i> en pitahaya	33
3.3. Estudios realizados con la pitahaya	36

4. MATERIALES Y MÉTODOS	38
4.1. Ubicación	38
4.2. Recolección de los frutos de Pitahaya	39
4.3. Preparación de las muestras	41
4.4. Análisis microbiológico de los frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) afectados por el hongo <i>Fusarium</i>	43
4.5. Caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) afectados por el hongo <i>Fusarium</i>	44
4.5.1. Análisis físico.....	44
4.5.2. Análisis químico	45
4.6. Análisis estadístico.....	49
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
5.1. Análisis microbiológico.....	50
5.2. Caracterización fisicoquímica.....	53
5.2.1. Análisis físico.....	53
5.2.2. Análisis químico	58
6. CONCLUSIONES.....	72
7. RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flor de pitahaya amarilla.....	19
Figura 2. Tallo de pitahaya amarilla.....	20
Figura 3. Partes del fruto de pitahaya amarilla.....	21
Figura 4. Grados de maduración de la pitahaya amarilla de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3554. La calidad de fruto más alta corresponde al número 6 y la más baja al 0.	25
Figura 5. Características morfológicas microscópicas del genero <i>Fusarium</i>	32
Figura 6. Diagramas de severidad para la evaluación de Pudrición basal de los frutos de pitahaya. Área negra= Tejido enfermo; Área blanca= Tejido sano.....	34
Figura 7. Fruto de pitahaya amarilla exhibiendo síntomas de pudrición, pardeamiento y ablandamiento del tejido.....	35
Figura 8. Síntoma inicial de la Pudrición basal de los frutos, donde se observa amarillamiento en el punto de unión del fruto con la penca.....	35
Figura 9. Mapa de Pitalito por corregimientos.....	38
Figura 10. Estados de maduración de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).....	39
Figura 11. Recolección de frutos de pitahaya amarilla-.....	40
Figura 12. Almacenamiento de frutos de pitahaya amarilla.....	40
Figura 13. Esquema de adecuación de las muestras de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>).....	42
Figura 14. Siembra microbiológica para identificar el hongo patógeno en frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>); a. Cepa de <i>Fusarium</i> en pulpa, siembra directa en medio PDA a partir de material vegetal enfermo. b. Cepa de <i>Fusarium</i> en cáscara. c. Siembra en PDA de semillas. d. Siembra en PDA a partir de pulpa de fruto sano.....	50
Figura 15. Aislamiento del hongo <i>Fusarium</i> en PDA; a. Cáscara b. Pulpa.....	51
Figura 16. Estructuras microscópicas de <i>Fusarium oxysporum</i> (40X); a. Abundantes microconidias, de forma alargada y de una sola célula. b. Macroconidias en forma de media luna y con dos septas. c. Monofiliades acompañados de microconidas y d. Clamidosporas.....	52

Figura 17. Comportamiento de las medidas de longitud (mm) respecto al peso (g) del fruto de pitahaya amarilla.	54
Figura 18. Comportamiento de las medidas de diámetro (mm) respecto al peso (g) del fruto de pitahaya amarilla.	54
Figura 19. Distribución de frecuencia por pesos.	55
Figura 20. Gráfico de caja y bigotes de solidos solubles por estados.....	60
Figura 21. Gráfico de caja y bigotes de pH por estados.	62
Figura 22. Grafico caja y bigotes de acidez titulable por estados.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la pitahaya amarilla.	18
Tabla 2. Condiciones óptimas para el cultivo de pitahaya amarilla.....	22
Tabla 3. Composición química y nutricional de pitahaya amarilla.....	23
Tabla 4. Descripción de la Tabla de color de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>). 26	
Tabla 5. Plagas que atacan al cultivo de pitahaya amarilla.....	27
Tabla 6. Enfermedades que atacan al cultivo de pitahaya amarilla.	28
Tabla 7. Taxonomía de <i>Fusarium</i>	31
Tabla 8. Pruebas preliminares realizadas.	45
Tabla 9. Pruebas complementarias realizadas.....	47
Tabla 10. Pesos frescos en porcentaje de cáscara, semilla y pulpa del fruto de pitahaya amarilla en cinco estados de madurez.....	57
Tabla 11. Promedio pruebas químicas preliminares.	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo a. Cultivo de pitahaya amarilla, Finca el Descanso.	85
Anexo b. Análisis microbiológico.	86
Anexo c. Pruebas Físicas	86
Anexo d. Pruebas químicas preliminares.	86
Anexo e. Pruebas químicas complementarias.	86
Anexo f. Procedimiento determinación de Pectina, con base en la norma NMX-F-347-S-1980 FRUTAS Y DERIVADOS.....	106

1. INTRODUCCIÓN

Colombia se ha consolidado como uno de los principales países productores de frutas a nivel mundial durante la última década (Jiménez, 2010) entre las cuales se destacan las frutas exóticas debido a que presentan alta tendencia al consumo, de igual forma se distinguen por su variedad y sabor característico; una de estas especies frutales es la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) (Delgado, 2010), catalogada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural como una de las seis frutas de ciclo largo consideradas en la “Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020.

La pitahaya amarilla es considerada como un fruto de gran importancia para el sector hortofrutícola, gracias a sus características nutritivas, funcionales y organolépticas se ha posesionado en el mercado nacional e internacional con cifras de exportación de 43.7% para el año 2011 (Mosquera, Betancourt, Castellanos & Perdomo, 2011), las principales zonas productoras son Valle del Cauca, Boyacá, Bolívar y el resto de área sembrada está distribuida en Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Santander y Tolima, datos registrados para el año 2009 Betancourt *et al.*, (citado por Medina & Kondo, 2012).

Los volúmenes de exportación de pitahaya amarilla en Colombia han aumentado, posicionándose con éxito en diferentes países como China, Emiratos Árabes, Brasil, Francia y Reino Unido (Osorio, 2017), por tal motivo los productores deben cultivar frutas de excelente calidad que cumplan con los estándares establecidos para su consumo en fresco o como materia prima para procesamiento como lo establece la Norma Técnica Colombiana 3554.

En los últimos años el área sembrada de esta fruta ha tenido un crecimiento considerable, con el fin de satisfacer las necesidades del consumidor, los productores se han visto en la necesidad de expandir el área sembrada, sin embargo, las condiciones climáticas y las constantes lluvias, incrementan la humedad en el ambiente, lo que conlleva a la presencia de plagas y el desarrollo de enfermedades que limitan la producción del cultivo (ICA, 2012).

El departamento del Huila produce pitahaya amarilla de excelente calidad, tipo exportación, siendo el municipio de Palestina el mayor productor de este fruto con un área cultivada de 300 hectáreas (La Nación, 2012), donde la mayor parte de los productores se encuentran agrupados en la Asociación APROPIT, reportando un total de 126 ha y 64 socios que comercializan el fruto a nivel nacional e internacional. Sin embargo, la rápida transición del cultivo silvestre a la producción comercial sin que se contara con un desarrollo tecnológico adecuado, dio lugar a diferentes problemas entre los que se destacan los fitosanitarios como la pudrición basal del fruto ocasionado por especies del género *Fusarium*, dentro de los cuales sobresale la especie *Fusarium oxysporum*, como el principal patógeno causante de la pudrición (Salazar, Serna & Gómez, 2015), afectando la calidad y por ende la rentabilidad del cultivo, esta asociación reporta la incidencia de la especie patógena con pérdidas de fruta exportable superiores al 30% .

Este hongo se encuentra distribuido en todos los departamentos donde se cultiva la fruta, departamentos como Boyacá y Valle del Cauca, han reportado pérdidas de esta fruta en el mercado nacional e internacional, por lo que se convierte en la principal enfermedad que limita la producción de pitahaya amarilla en Colombia, con una incidencia del 29.3% reportando pérdidas de hasta el 80% (Corpoica, 2013).

La pudrición basal, se caracteriza inicialmente con una lesión en la parte donde se une el fruto con la penca ocasionando un aspecto de madurez prematura en el fruto, en la parte basal se observa pudrición parcial blanda o seca de color marrón, la presencia del hongo es más evidente a medida que el fruto alcanza su estado máximo de madurez. Durante la época de poda y cosecha los productores eliminan aquellos frutos que presentan síntomas de pudrición basal, sin embargo, estos son depositados en zonas aledañas al cultivo sin darles un manejo adecuado, ocasionando contaminación ambiental y por ende proliferación del hongo, ya que este se puede propagar por el agua de riego, por las corrientes de aire y de forma indirecta por medio del material de propagación infectado, la maquinaria y las herramientas (ICA, 2012).

Por lo anterior, en la presente investigación a partir de frutos de pitahaya amarilla afectados con pudrición basal, se comprobó que el microorganismo causante de la enfermedad en los frutos estudiados pertenece al género *Fusarium*, asimismo se conoció en qué fracción del fruto (pulpa, semilla y cáscara) se encontraba presente y se realizó la caracterización fisicoquímica, conociendo

las propiedades químicas presentes en las diferentes fracciones del fruto, definiendo el potencial para el aprovechamiento agroindustrial que se les pueda dar, de igual manera, este estudio favorece positivamente a los productores de la zona, generando conocimiento acerca de las potencialidades de estos frutos, además del valor agregado que se puede generar con el uso de sus fracciones, de igual forma se ayudará a minimizar el impacto negativo en el ambiente ocasionado por la disposición final que se les da a los frutos enfermos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar la caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) afectados por el hongo *Fusarium* para el desarrollo de productos de tipo agroindustrial.

2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar análisis microbiológicos a los frutos estudiados para identificar que la afectación es generada por el hongo del género *Fusarium*.
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de los frutos de pitahaya amarilla afectados por el hongo *Fusarium* en cinco estados de maduración según la Tabla de Color de la Norma Técnica Colombiana 3554.
3. Identificar las propiedades químicas que permitan el desarrollo de un producto de tipo agroindustrial.
4. Establecer los productos de tipo agroindustrial que se pueden obtener a partir del fruto.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Generalidad de Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

3.1.1. Origen y taxonomía

La pitahaya amarilla es una fruta exótica que se originó en América tropical y fue observada por primera vez en forma silvestre por los conquistadores españoles en países como México, Colombia, Centroamérica y las Antillas, quienes le dieron el nombre de pitahaya que significa fruta escamosa. En Colombia se comenzó a cultivar comercialmente a inicios de la década de los 80's, principalmente con fines de exportación, como cultivo de diversificación en zonas cafeteras por el Programa de Desarrollo y Diversificación de la Federación Nacional de Cafeteros (1987) (Guzmán, Pérez & Patiño, 2011).

La pitahaya amarilla pertenece a la familia Cactácea, su taxonomía se observa en la Tabla 1, esta planta es perenne, trepadora, epífita, comúnmente se enreda en árboles o piedras, tiene raíces fibrosas abundantes y desarrolla raíces adventicias que le sirven para fijarse a los tutores para obtener humedad y nutrientes (Delgado, *et al.*, 2010).

Tabla 1. Taxonomía de la pitahaya amarilla.

Taxonomía de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	
Nombre común	Pitahaya amarilla
Clase	<i>Equisetopsida</i>
Subclase	<i>Magnoliidae</i>
Superorden	<i>Caryophyllanae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Cactácea</i>
Genero	<i>Selenicereus</i>
Especie	<i>S. megalanthus</i>

Fuente. Delgado *et al.* (2010)

3.1.2. Descripción botánica

Suarez (2011) afirma que la planta de pitahaya amarilla es una especie xerofítica. Por lo tanto, está adaptada para vivir en condiciones secas y áridas donde el agua es el factor limitante, por lo que ha desarrollado mecanismos encargados de favorecer la captación de agua y evitar su pérdida por transpiración. La pitahaya amarilla está constituida por un sistema radical que consta de una raíz principal poco profunda y raíces secundarias ramificadas y superficiales, al lado de los tallos se encuentran raíces adventicias que se desarrollan entre 5 y 10 cm de profundidad, inicialmente sirven de sostén para la planta, pero con el tiempo, estas crecen introduciéndose en la tierra y toman las características de una raíz normal. La flor de la pitahaya amarilla, como se muestra en la Figura 1, es hermafrodita, en forma de tubo, contiene ovario en su parte inferior, está conformada por protuberancias en donde nacen las espinas, posee pétalos que pueden variar de color, ya sea blanco, amarillo o rosado (ICA, 2012). La floración depende de diferentes condiciones, como la humedad del ambiente, fertilización y temperatura (Aguilar, 2016).

Figura 1. Flor de pitahaya amarilla.



Fuente. Autoras

El tallo es de color verde como se observa en la Figura 2, es el encargado de almacenar agua, tienen tres aristas o costillas sobre las que se encuentran las areolas, característica propia de las cactáceas, en la que nacen grupos de espinas dando lugar a ramificaciones y flores, por lo general, a medida que los tallos crecen tienden a trepar para posteriormente ramificarse y colgar (Cañamero & Arévalo, 2014).

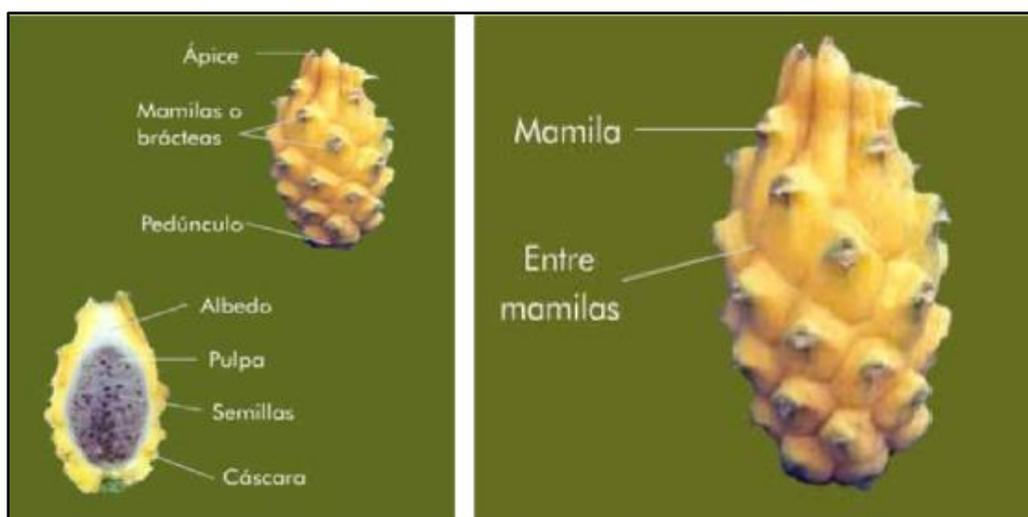
El fruto es una baya de color verde antes de madurar; en el proceso de maduración va tomando un color amarillo o rojo según la variedad; pesa entre 200 g y 350 g (Corpoica, 2013). Este fruto se caracteriza por su exuberante forma, tiene protuberancias llamadas mamilas las cuales contienen espinas, como se observa en la Figura 3, al igual que por su pulpa blanca y suave con pequeñas semillas negras, con aproximadamente 650 por fruto predominando azúcares como glucosa y fructosa con pequeñas cantidades sacarosa, además, son una buena fuente de minerales, fibra dietética, vitamina (Rodríguez, Patiño, Lasprilla, Fischer & Galvis, 2005). El peso de los frutos de pitahaya amarilla varía entre 70 y 390 gramos, el diámetro entre 45 y 90 mm, mientras que la longitud está entre 80 y 140, el fruto posee una cáscara gruesa que representa entre el 46 y el 55% del peso total, se considera que esta es una forma natural de empaque debido a que es una protección pasiva (Rojas, *et al.*, 2004).

Figura 2. Tallo de pitahaya amarilla.



Fuente. Autoras

Figura 3. Partes del fruto de pitahaya amarilla.



Fuente. Guerrero (2014)

3.1.3. Manejo y requerimientos del cultivo

Los suelos ideales para el establecimiento de este cultivo son los franco arenoso y franco arcilloso, con alto contenido de materia orgánica y bien drenados (ICA, 2012), se recomienda fertilizar la planta cada 2 meses con una mezcla de fertilizantes químicos, con materia orgánica humus o compost, igualmente el control de malezas debe ser frecuente, especialmente en época lluviosa, ya que las malezas son hospederos de plagas que atacan a la pitahaya, mientras que en verano se recomienda dejarlas en los callejones para proteger el suelo contra la humedad (Guerrero, 2014).

Por lo general, el cultivo de pitahaya amarilla se localiza en zonas con buena pendiente aproximadamente de 50% para así facilitar el escurrimiento del agua y evitar la pudrición de la raíz y del tallo. El promedio de distancia de siembra entre surcos es de 3 m, entre plantas de 1.5 m y entre postes de 4.5 m. (Creuci, *et al.*, 2011).

El buen manejo del cultivo se puede ver reflejado en la producción por planta, se estima que en cultivos de 3 años la producción se encuentra en un promedio de 2.5 kg por planta, mientras que en cultivos de 5 a 8 años de edad el promedio de producción está entre 3 a 5 kg por planta, en cada periodo de cosecha (Guerrero, 2014).

En la tabla 2, se puede observar algunas condiciones óptimas para el establecimiento del cultivo de pitahaya.

Tabla 2. Condiciones óptimas para el cultivo de pitahaya amarilla.

Altitud	0 - 1.200 m.s.n.m.
Temperatura	14 °C - 26 °C
Precipitación	500 - 700 mm/año
Sembrío	40% - 60%
Pendientes	50%
pH	5-7

Fuente. Medina & Mendoza (2011)

3.1.4. Composición química

La contribución nutritiva de las frutas está determinada por el contenido de minerales, vitaminas, carbohidratos y fibra, cuyas cantidades varían dependiendo de factores genéticos como especie y variedad, al igual que ambientales y fisiológicos como lo son el desarrollo y grado de madurez del fruto (Guerrero, 2014).

La composición química de los frutos de pitahaya varía de acuerdo a la variedad, condiciones ambientales y ubicación geográfica del cultivo. En la tabla 3, se muestra la composición química y nutricional de la pitahaya amarilla. Como se puede observar en la tabla, el compuesto que se encuentra en mayor cantidad en los frutos de pitahaya es el agua con aproximadamente 85.4%, lo que le ofrece al fruto la característica de jugosidad. Después del agua, los componentes más abundantes son los azúcares, entre estos la glucosa y la fructosa, los cuales se encuentran por lo general en cantidades similares. El contenido de azúcares totales en la pitahaya es de aproximadamente 13%. Los minerales característicos en los frutos de pitahaya son el calcio y el fósforo (Guerrero, 2014).

Tabla 3. Composición química y nutricional de pitahaya amarilla.

Componentes	Cantidad
Agua (g)	85.4
Carbohidratos totales (g)	13.2
Cenizas (g)	0.4
Extracto etéreo (g)	0.1
Proteína (g)	0.50
Fibra (g)	0.5
Fósforo (mg)	16.0
Calcio (mg)	10.0
Hierro (mg)	0.3
Vitamina C (mg)	4.0
Grasas (g)	0.10
Tiamina (mg)	0.01
Ácido ascórbico (mg)	25.0

Fuente. Guerrero (2014)

3.1.5. Caracterización fisicoquímica y nutricional de la Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

Es importante conocer las diferentes características físicas y químicas de los productos hortofrutícolas al momento de la cosecha, ya que éstas definen su calidad final, y, por tanto, su comportamiento durante la poscosecha y almacenamiento, debido a esto, se crea la necesidad de utilizar índices de madurez, que permitan brindar información sobre el producto y estimar el momento de cosecha de acuerdo con el objetivo comercial requerido (Rojas, *et al.*, 2004).

Según la investigación realizada por Creuci *et al.* (2011), sobre El enfoque multidisciplinario para solución en el agro colombiano: el caso pitahaya amarilla, encontraron que los frutos presentan una relación cáscara-pulpa (37.42 % - 61.35%). Respecto al contenido nutricional muestra un

elevado contenido de humedad en un rango de (80 - 86%), porcentaje de proteína (0.25 - 0.98), porcentaje de minerales (0.12 - 0.48) y un porcentaje de fibra total (0.39 - 1.14), también observaron un alto porcentaje de carbohidratos (10 - 16%) por lo que se correlaciona con su alto contenido energético de (2499.94 – 4371.92 cal/g). En relación al análisis químico los sólidos solubles oscilan entre (11.9 a 17.18 °Brix), la acidez titulable (0.74 a 1.38 g ácido cítrico/100g de peso fresco); un pH reducido que lo clasifica como un alimento medianamente ácido (4.23 -5.0) y el índice de madurez va desde 9.97 a 18.9.

3.1.6. Usos e industrialización

El principal uso de la pitahaya amarilla es alimenticio, especialmente como fruta fresca, debido a sus características organolépticas como sabor, textura y olor, fisicoquímicas como su alto contenido de sólidos solubles que puede ser hasta de 18 °Brix (Suarez, 2011), también sus propiedades nutricionales, terapéuticas, medicinales y funcionales lo que la hace un gran potencial comercial y agroindustrial (Mosquera, Betancourt, Castellanos & Perdomo, 2011).

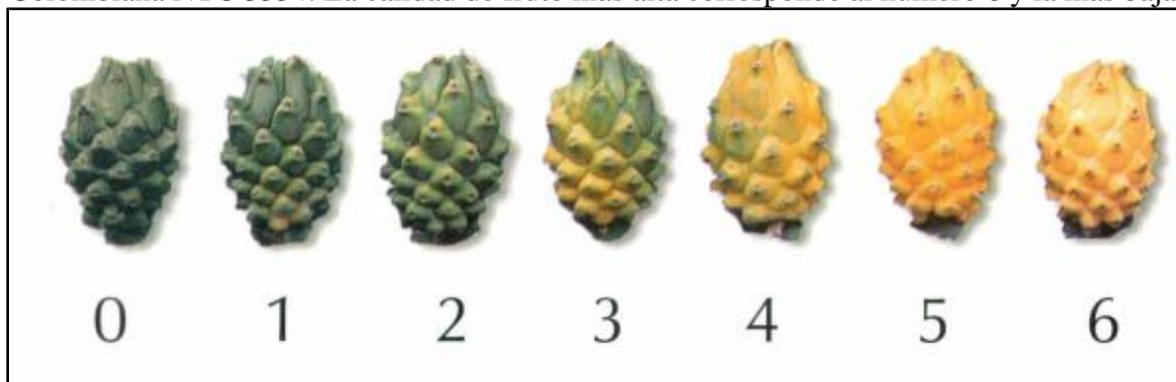
Sus semillas también son consumidas como probióticos, ya que los oligosacáridos que contienen pueden ser usados como un ingrediente en alimentos funcionales y productos nutracéuticos, de igual manera se puede utilizar como calmante debido a que contiene una sustancia llamada captina, también es posible encontrar en el mercado productos a base de esta fruta como mermeladas, helados, jugos, dulces, postres, gelatinas, entre otros (Aguilar, 2016).

Esquivel (2004) afirma que en todas las pitahayas se puede procesar la pulpa (congelamiento, concentración, deshidratación, fermentación, procesamiento térmico y preservación química) y extraer los colorantes y pectinas contenidos en la cáscara o en la pulpa, para lo cual se cuenta con tecnología a escalas casera, artesanal o industrial.

3.1.7. Índices de madurez

La maduración es el proceso que ocurre en los frutos después del estado de crecimiento, este proceso se hace evidente por cambios en la composición, color, textura y otros atributos sensoriales. En los frutos, en los primeros estados de desarrollo, la pulpa contiene pequeñas cantidades de azúcar, pero grandes cantidades de almidón, fenoles y ácidos, sin embargo, cuando alcanzan la madurez, el contenido de azúcar se incrementa debido a que las células de la pulpa se alargan, mientras que el almidón, los fenoles y ácidos disminuyen. (Rojas *et al.*, 2004). Los índices de madurez son parámetros que se deben tener en cuenta durante el manejo poscosecha, para determinarlo es importante tener en cuenta las transformaciones físicas y químicas que se dan durante el desarrollo de los productos. Los parámetros más importantes para determinar el índice de madurez de los frutos de pitahaya amarilla son, el tiempo transcurrido desde la floración hasta la cosecha; cambios físicos como tamaño, forma, textura, firmeza; cambios químicos como sólidos solubles, acidez, pH y el cambio de color, que es la característica más evidente durante la maduración (Guerrero, 2014), por lo general, se utilizan cartas de color para determinar el color interno y externo y así evaluar la madurez de los frutos, en la Figura 4 se observa la Tabla de color de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) según la Norma Técnica Colombiana 3554 y en la Tabla 4 se observa la descripción de la tabla de color de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).

Figura 4. Grados de maduración de la pitahaya amarilla de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3554. La calidad de fruto más alta corresponde al número 6 y la más baja al 0.



Fuente. Norma Técnica Colombiana 3554, 1996.

Tabla 4. Descripción de la Tabla de color de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).

Grado de madurez	Descripción
0	Fruto bien desarrollado de color verde, aristas notoriamente marcadas en las mamilas.
1	Fruto de color verde, con un ligero viso de color amarillo en la zona basal, permanece la forma de las aristas.
2	Fruto verde con trazas de color amarillo hasta el 50 % de la superficie del fruto, empieza el llenado de las mamilas y la separación entre ellas.
3	Fruto verde-amarillo, entre el 30 a 40 % de la superficie de color amarillo.
4	Fruto verde-amarillo, entre el 70 al 80 % de la superficie de color amarillo, continua el llenado de las mamilas y mayor separación entre ellas.
5	Frutos de color amarillo con las mamilas verdes. Las mamilas están separadas y completamente llenas
6	Fruto completamente amarillo.

Fuente. Norma Técnica Colombiana 3554, 1996.

3.1.8. Plagas y enfermedades

El cultivo de pitahaya amarilla ha sido vulnerable a problemas fitosanitarios causados por microorganismos patógenos que dificultan el buen funcionamiento de la planta impidiendo el paso del alimento y agua, los diferentes patógenos atacan por medio de sus toxinas y se encargan de alterar el metabolismo, ocasionando disminución en la producción. Existen diferentes plagas que atacan a la pitahaya amarilla, en la Tabla 5, se presenta un listado de las principales plagas e insectos que atacan este cultivo. En la Tabla 6, se muestran las principales enfermedades, en la mayoría hongos que ocasionan daños en los sistemas vegetativo y reproductivo de las plantas de pitahaya amarilla, provocando pudrición. Medina & Kondo (2012) encontraron 29 organismos que atacan la pitahaya amarilla en Colombia, una de las enfermedades más conocidas es la ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* que causa la pudrición basal del fruto, de igual forma se hace evidente la Pudrición suave de tallos y de ramas causada por *Erwinia spp.*, la pudrición seca de la penca ocasionada por *Dreschlera cactivora* y Antracnosis por el hongo *Colletotrichum sp.* (Corpoica, 2013).

Tabla 5. Plagas que atacan al cultivo de pitahaya amarilla.

Plaga agente causal	Daños y hábitos	Síntomas
Chinche patón (<i>Leptoglossus zonatus</i>)	Insecto (Chupador)	Clorosis en los cladodios Botones florales toman un color rojizo
Mosca del botón floral (<i>Dasiops saltans</i>)	Insecto (Chupador)	Se alimentan de las anteras y otros órganos internos, causan pudrición, detienen su desarrollo, los botones se tornan rojizos y se desprenden con facilidad.
Hormiga arriera (<i>Atta cephalotes</i>)	Insecto (Ovoposita huevos)	Ataca las partes vegetativas, botones florales y frutos, principalmente en las heridas dejadas por el chinche patón.

Fuente. Guerrero (2014)

Tabla 6. Enfermedades que atacan al cultivo de pitahaya amarilla.

Enfermedad	Agente Causal	Síntomas
Nudo de la raíz (<i>Meloidogyne incognita</i>)	Nematodos	Ataca a la raíz en plantas jóvenes e induce a la formación de agallas visibles en la raíz. Flacidez en los cladodios y se tornan en un color amarillento.
Pudrición del tallo blando (<i>Erwinia sp.</i>)	Bacteria	Pudrición de color amarillento en los cladodios, en ocasiones delimitado por halos cloróticos. Susceptibles en plantas deficientes en calcio y nitrógeno.
Antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)	Hongo	Lesiones necróticas rodeados por un halo de color café rojizo seguido de un halo clorótico en los cladodios, en frutos se observa lesiones amarillas de consistencia blanda, avanza desde la base del fruto
Pudrición de la fruta (<i>Bipolaris cactivora</i> y <i>Aspergillus sp.</i>)	Hongos	Lesiones circulares pequeñas de color marrón, que pueden expandirse y formar grandes áreas de pudrición, cubierto en varias zonas de negro por la esporulación del hongo en tallos y frutos.
Pudrición basal de la fruta (<i>Fusarium sp.</i>)	Hongo	Lesión amarilla en la unión del fruto con la penca, que después disemina por el fruto, a medida que avanza sobre la epidermis presenta una pudrición blanda de color café.

Fuente. Guerrero (2014)

Según el ICA (2012), debido la intensidad de las precipitaciones se originan una serie de sucesos fisiológicos y fitosanitarios que afectan la calidad de los frutos y el rendimiento de las producciones; de igual forma proliferan plagas como el hongo *Fusarium Oxysporum* que afecta el tejido de los frutos en formación hasta que se caen y disminuye considerablemente el volumen de la producción hasta en un 50%.

Wiwik *et al*, (citado por Salazar, Serna & Gómez, 2015) demostraron que plantas relacionadas con la familia cactácea son susceptibles al ataque de *Fusarium*, originando pudriciones blandas y secas que se extienden desde la base del tallo hasta deteriorar la calidad del fruto.

3.2. Género *Fusarium*

Los hongos filamentosos son de gran importancia en diferentes procesos, lo que ha hecho que en los últimos 100 años su estudio haya crecido de una forma exponencial. Dentro de los hongos filamentosos el género *Fusarium* es, sin duda, uno de los más importantes (Gutiérrez, 2004), fue introducido por Link en 1809 y ahora se acerca a su tercer siglo como el género que contiene muchos hongos patógenos en plantas. Los miembros de este género pueden causar directamente enfermedades en plantas, humanos y animales domesticados. Por lo tanto, *Fusarium* siempre ha sido un género visible con muchas cepas, especies y metabolitos (Leslie & Summerell, 2006).

Los primeros estudios sobre los problemas producidos por *Fusarium* comenzaron con una investigación llevada a cabo por Martius (1842) a mediados del XIX, en los que fue establecido como el agente causal de la podredumbre en patatas almacenadas. *Fusarium* han tenido varios impactos importantes como fenómeno social y en enfermedades de plantas. Uno de estos impactos, fue el desastre de la industria bananera comercial en la década de 1960 por marchitez causada por *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense*. Los tipos de enfermedades inducidas son bastante variadas, como lo es su severidad, y puede incluir pudriciones de raíz o tallo, marchiteces, pudrición de semillas o frutos y enfermedades de las hojas (Leslie & Summerell, 2006).

Este género reúne especies que por lo general se encuentran en los suelos tomando los nutrientes del material orgánico y de las raíces de las plantas. El aporte de nutrientes al suelo disminuye debido a la presencia de abundantes microorganismos, por lo que la mayoría de los hongos permanecen en estado durmiente mediante la formación de estructuras de resistencia. Respecto a *Fusarium*, algunas de sus especies forman clamidosporas que son estructuras de resistencia que germinan sólo en presencia de restos vegetales o raíces Price (citado por Gutiérrez, 2004).

Fusarium como patógeno de plantas, ha tomado importancia debido a la complicación para controlar las enfermedades que produce. Estos patógenos vegetales se pueden dividir en tres grupos en función del tipo de enfermedad que ocasiona. En primer lugar, se encuentran los que provocan marchitamiento vascular en el huésped, causada principalmente por *F. oxysporum*. En segundo lugar, estarían las podredumbres de raíz causadas principalmente por *F. solani* y por último las especies que provocan enfermedades en plantas gramíneas (*F. moniliforme*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* y *F. culmorum*) Price (citado por Gutiérrez, 2004). Debido al grado de complejidad de las enfermedades ocasionadas por *Fusarium*, los métodos disponibles para controlarlo no son eficaces o son difíciles de aplicar. Muchos fungicidas habían dado resultados positivos en cultivos *in vitro* sin embargo resultaron ineficaces cuando se aplicaron en el campo (Gutiérrez, 2004).

3.2.1. Patogenicidad

El género *Fusarium* ha llegado a provocar una extensa gama de enfermedades en el hombre. Las infecciones por *Fusarium* se incluyen dentro de la categoría de las hialohifomicosis, las cuales se definen como micosis causadas por hongos oportunistas que presentan hifas hialinas y septadas; también se utiliza el término fusariosis para referirse específicamente a las infecciones causadas por este género (Acevedo, 2013). Las especies del género *Fusarium*, en el hombre y animales pueden causar múltiples patologías por medio de diferentes mecanismos de acción, como:

- Micetismo: Intoxicación alimentaria por sustancias químicas constituyentes del hongo ingerido.
- Micotoxicosis: Intoxicación por ingestión de toxinas elaboradas por el metabolismo del hongo al crecer en algunos alimentos.
- Alergias: Reacciones de hipersensibilidad debidas a mecanismos inmunológicos.
- Micosis: Infecciones por invasión de los tejidos superficiales o profundos.

Las especies del genero *Fusarium* que se han identificado como patógenos para el hombre, teniendo en cuenta su orden de importancia, son: *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. dimerum*, *F. proliferatum*, *F. chlamyosporum*, *F. sacchari*, *F. nygamai*, *F. napiforme* y más recientemente, *F. incarnatum*, *F. polyphialidicum* y *F. thapsinum* (Nucci y Anaissie, 2007).

3.2.2. Taxonomía de *Fusarium*

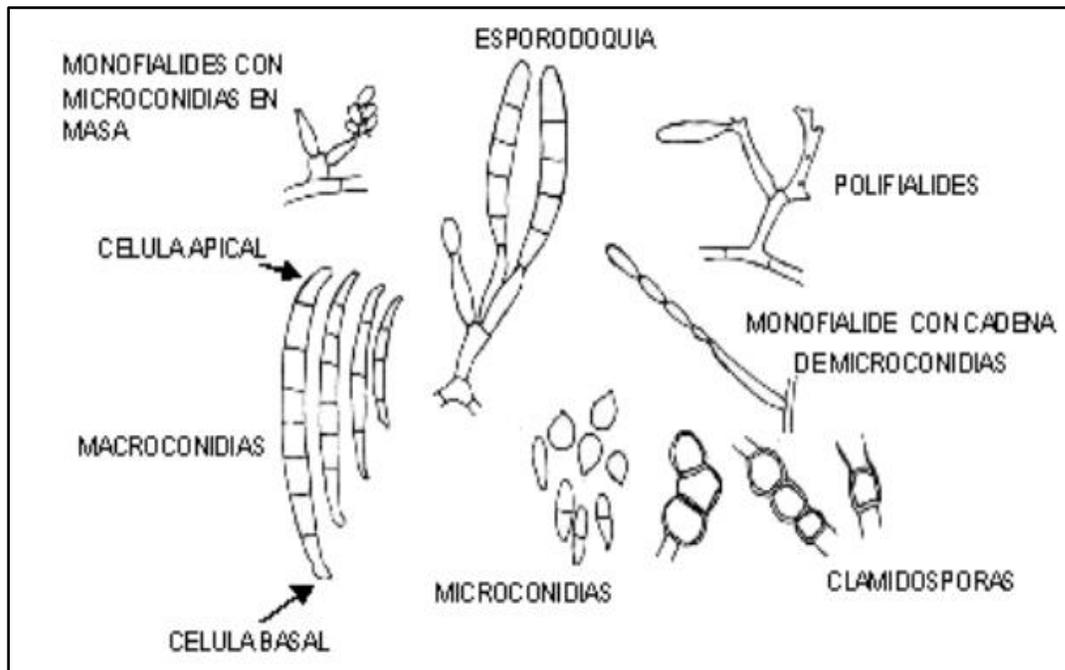
Tabla 7. Taxonomía de *Fusarium*.

División	<i>Ascomycota</i>
Clase	<i>Euascomycetes</i>
Orden	<i>Hypocreales</i>
Familia	<i>Hypocreaceae</i>
Genero	<i>Fusarium</i>
Especies	<i>F. oxysporum</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. verticilloides</i> , <i>F. dimerum</i> , <i>F. chlamyosporum</i> , etc

Fuente. Gonzales (2013).

La taxonomía clásica de *Fusarium*, como se observa en la Tabla 7, se ha basado en la definición de los caracteres morfológicos presentes en el hongo y características de crecimiento en cultivo. Las características macroscópicas propias de las colonias del hongo incluyen, textura algodonosa, rara vez levaduriforme, con pigmentos salmón, morado, rosado, café claro, amarillo o gris; vistos al microscopio, los hongos presentan hifas hialinas, septadas y filamentosas, pueden producir tres tipos de conidias y mesoconidias, microconidias, macroconidias y clamidosporas. Los caracteres primarios para identificar especies son la morfología de la macroconidia; presencia o ausencia, morfología o disposición de microconidias; morfología de los microconidióforos (simples o ramificados) portadores de células conidiógenas con un desarrollo fialídico; y presencia o ausencia de clamidosporas (Leslie y Summerell, 2006), en la Figura 5, se observa las características morfológicas microscópicas del genero *Fusarium*.

Figura 5. Características morfológicas microscópicas del genero *Fusarium*.



Fuente. Garrett (citado por Gonzales 2013).

3.2.3. *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum es un hongo universal que existe en muchas formas patogénicas, afectando más de 100 especies de plantas Gimnospermas y Angiospermas, de reproducción asexual, haploide debido a los numerosos mecanismos que tiene para vencer sus defensas. Se caracteriza por realizar colonias de rápido crecimiento, con una tasa diaria de aproximadamente a un centímetro en medio papa- dextrosa agar (PDA) a 25°C. La morfología de las colonias es muy variable y puede presentar dos tipos: una de tipo micelial caracterizada por la producción de abundante micelio aéreo, algodonoso, con una coloración cambiante, de blanco a rosado durazno (De Granada, De Amezcua, Bautista & Valencia, 2001). Es un hongo cuyo óptimo desarrollo se presenta a temperaturas de 20° C, con un rango de 12 a 28° C; en condiciones de alta humedad relativa y días cortos de baja intensidad lumínica se favorece su desarrollo. Los cultivos establecidos en suelos ácidos, arenosos, con bajo pH, pobre en nitrógeno son propicios a la enfermedad, presenta estructuras llamadas esporodocios donde se agrupan las microconidias. También forma

macroconidias y tiene estructuras de resistencia denominadas clamidiosporas que pueden permanecer en el suelo por varios años (ICA, 2012).

El *Fusarium oxysporum* se encuentra presente en diferentes cultivos, en algunos de ellos de forma benéfica, al ser utilizado con el fin de controlar biológicamente los cultivos de coca, sin embargo, este agente patógeno ataca distintos tipos de plantaciones ocasionando lesiones en ellas que pueden ir desde la pudrición en la parte basal hasta marchitamiento vasculares ocasionando la muerte de la misma, este hongo parasita en más de 100 especies de plantas haciéndose presente en diferentes formas por ejemplo *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* ataca solamente tomate, *F. oxysporum f.sp. pisi* ataca sólo alverja, *F. oxysporum f.sp. cubense* ataca únicamente plantas de banano y plátano (Arbeláez, 2000).

Fusarium oxysporum es el más disperso de las Especies de *Fusarium* y se pueden encontrar en diferentes tipos de suelos, esta especie comprende diversos representantes que son patógenos que a menudo causan marchitez vascular en las plantas, este patógeno se puede propagar por medio del viento, suelo, semillas o material de plantación infectado (Leslie & Summerell, 2006).

3.2.4. *Fusarium oxysporum* en pitahaya

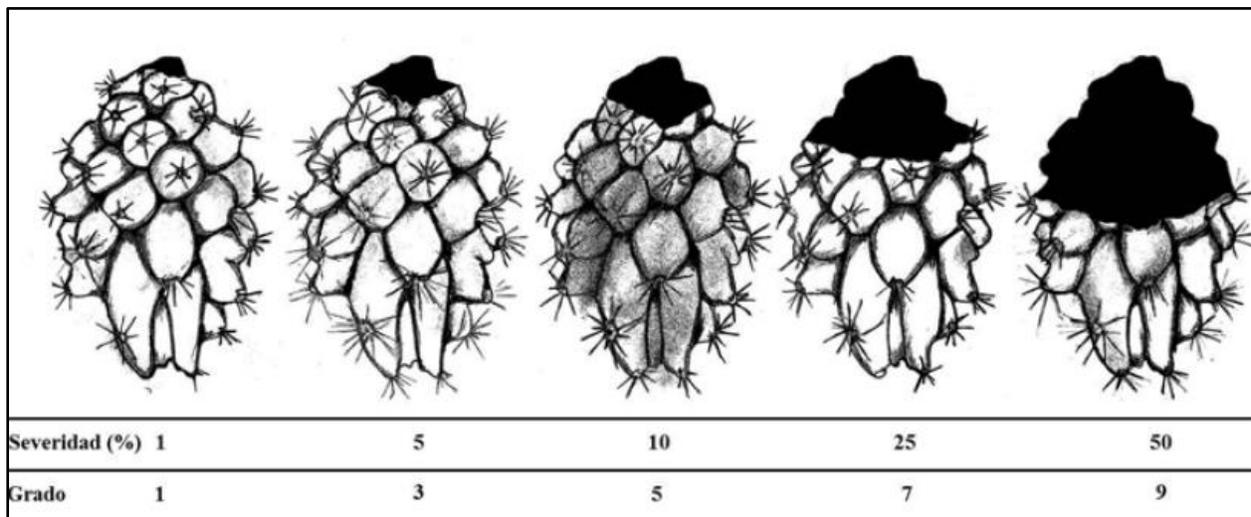
Esta especie se presenta en el cultivo de pitahaya amarilla, generando pudrición basal en la parte donde se une la penca con el fruto, la afectación va desarrollándose sobre la epidermis del fruto y según las condiciones ambientales y nutricionales de la planta puede llegar a afectar hasta un 50% de la superficie como se observa en la Figura 6, la parte afectada siempre adquiere color amarillo de máximo cinco milímetros de diámetro y una pudrición blanda de color café como se muestra en la Figura 7, así el fruto no haya llegado a la madurez como se muestra en la Figura 8 (Corpoica, 2013).

En Colombia, se han encontrado veinticuatro hongos causantes de enfermedades en el cultivo de pitahaya amarilla, aunque, en el fruto se destaca la presencia de *Fusarium spp.* y de *Colletotrichum spp.* Por medio de identificación morfológica han registrado a *F. oxysporum* como el causante de

la pudrición basal de la pitahaya en el Valle del Cauca, Varón (citado por Salazar serna y Gómez, 2015)

Salazar serna y Gómez, (2015) realizaron la Caracterización molecular del hongo *Fusarium* ligado a la pudrición basal del fruto de pitahaya amarilla esta se desarrolló en diecisiete aislamientos asociados con la enfermedad, los frutos fueron colectados en zonas productoras de los departamentos del Valle del Cauca, Risaralda, Boyacá y Cundinamarca, encontraron que las secuencias para los marcadores indicaron que los aislamientos patogénicos correspondieron a *Fusarium oxysporum* determinando a este patógeno como el agente causal de la pudrición basal de la pitahaya amarilla fue el hongo *Fusarium oxysporum*, la correspondencia de la especie encontrada en la secuenciación y el análisis filogenético de los dos marcadores caracterizados verifican la información.

Figura 6. Diagramas de severidad para la evaluación de Pudrición basal de los frutos de pitahaya. Área negra= Tejido enfermo; Área blanca= Tejido sano



Fuente. Corpoica (2013).

Figura 7. Fruto de pitahaya amarilla exhibiendo síntomas de pudrición, pardeamiento y ablandamiento del tejido.



Fuente. Autoras

Figura 8. Síntoma inicial de la Pudrición basal de los frutos, donde se observa amarillamiento en el punto de unión del fruto con la penca.



Fuente. Autoras

3.3. Estudios realizados con la pitahaya

En el año 2011 en la Universidad de Guayaquil- Ecuador realizaron la evaluación de la actividad antioxidante en extracto de pulpa de pitahaya mediante el método de captura de radicales libres utilizando el (DPPH). Con los resultados obtenidos, se logró observar que en el momento que se agregó extracto de pulpa al reactivo este se tornó a un color violeta claro lo que indica que la pulpa del fruto de pitahaya presenta buena actividad antioxidante y a partir de estos análisis se elaboró mermelada y néctar con la pulpa de pitahaya (Medina & Mendoza, 2011).

Esquivel & Araya (2012) en un estudio realizado sobre las Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria concluyeron que esta fruta presenta un alto contenido de betalaínas y que cuenta con propiedades antioxidantes y prebióticas, características que la convierten en una alternativa para la obtención de productos alimenticios con propiedades nutracéuticas o productos farmacéuticos, también se demostró la importancia de la cáscara para la obtención de pectina y de las semillas por su contenido de ácidos grasos insaturados, tienen potencial de uso alimentario, cosmético o farmacéutico.

Torres, Serna, Ayala, Ortiz & Bedoya (2012), evaluaron los cambios en propiedades químicas y de firmeza de pitahaya amarilla refrigerada por efecto de la aplicación de 1-mcp, 1-metilciclopropeno es un alqueno utilizado para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas, encontrando que durante el almacenamiento se presentó variaciones significativas en todas las variables estudiadas, concluyendo que la aplicación de 1-MCP genera cambios benéficos sobre el pH, azúcares totales, ácido ascórbico y firmeza, representando una alternativa para prolongar la vida útil de la pitahaya amarilla.

Chemah, Aminah, Noriham & Wan-Aida (2010), realizaron la Determinación de semillas de pitahaya como antioxidante natural y fuente de ácidos grasos esenciales, encontrando que los extractos etanólicos de semillas de *H. polyrhizus* mostraron un contenido fenólicos de (43.9 mg GAE / 100g peso seco) y flavonoide (50.8 mg CAE / 100g peso seco), de igual manera analizaron que los principales ácidos grasos del aceite de semillas de pitahaya fueron el ácido linoléico, hasta 660 g / kg para *S. megalanthus*, 540 g / kg para *H. undatus* y 480 g /kg para *H. polyrhizus*,

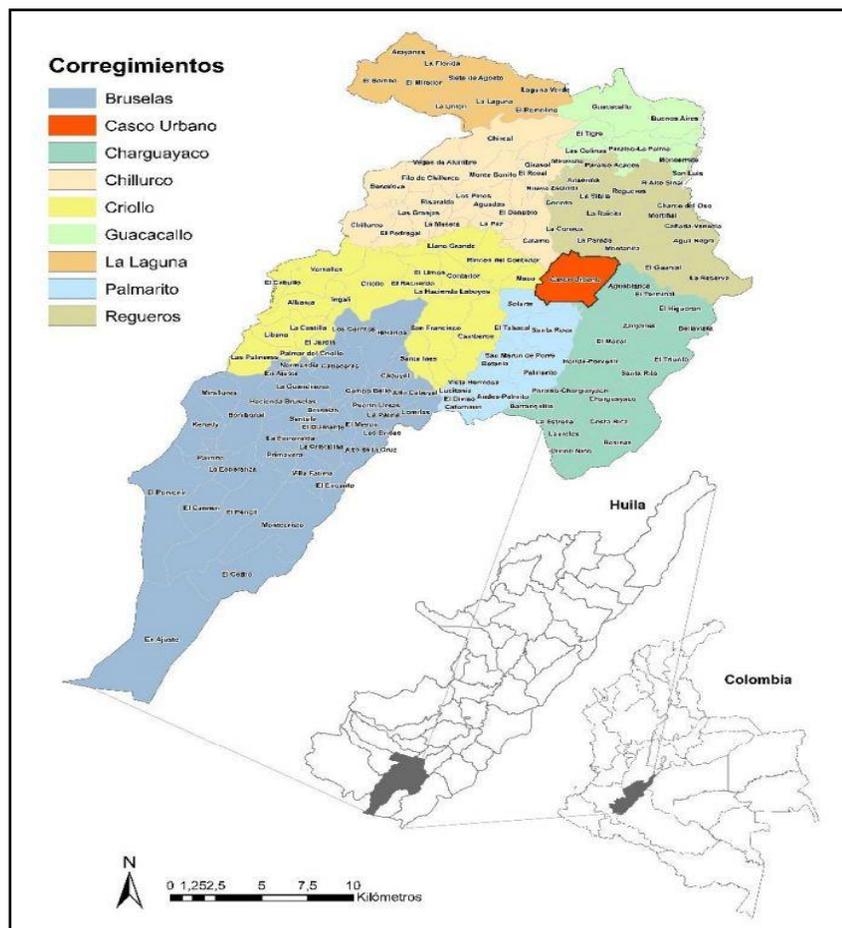
concluyendo que las semillas de Pitahaya tienen potencial para ser desarrolladas como alimento funcional, también que tiene buena capacidad antioxidante y su ácido graso es de buena naturaleza.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación

La materia prima empleada para realizar la presente investigación fue recolectada en la finca El Descanso la cual se encuentra a una altitud de 1820 m.s.n.m. en el corregimiento de Charguayaco (Figura 9) perteneciente al municipio de Pitalito, ubicado en el departamento del Huila a 1.318 m.s.n.m. con una temperatura media de 18 y 21° C. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios del área de agroindustria del Tecnoparque Yamboró Nodo Pitalito- Huila.

Figura 9. Mapa de Pitalito por corregimientos.



Fuente. Silva *et al.* (2015)

4.2. Recolección de los frutos de Pitahaya

Los frutos de pitahaya amarilla fueron recolectados en un cultivo de 1 ha de 7 años de edad (Anexo a), en dicha área se identificaron visualmente conforme a la tabla de color de la Norma Técnica Colombiana 3554, desde el estado 2 al 6 que se aprecia en la Figura 10, inicialmente se procedió a identificar en el cultivo los cinco estados de maduración que presentarían el hongo *Fusarium*, haciéndose evidente por la pudrición basal del fruto. En el momento de la recolección, debido a que no se encontraban en tiempo de cosecha, inicialmente se recolectaron cinco frutos enfermos en diferentes estados de maduración y un fruto sano, con el fin de realizar la siembra microbiológica para comprobar que el hongo presente en estos frutos era del género *Fusarium*, seguido de esto se recolectaron tres frutos por estado para la caracterización fisicoquímica, iniciando del 2 hasta el 6, posteriormente se realizó el debido corte haciendo uso de una tijera podadora como se muestra en la Figura 11(A), tomando tres muestras representativas por cada estado para un total de 15 frutos, con la ayuda de un cepillo se retiraron las espinas Figura 11(B), después de esto se almacenaron individualmente en bolsas ziploc como se observa en la Figura 12, para evitar la contaminación de los frutos, finalmente se transportaron hasta los laboratorios de Control Biológico y Agroindustria de Tecnoparque Yamboró.

Figura 10. Estados de maduración de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).



Fuente. Norma Técnica Colombiana 3554 y Autores

Figura 11. Recolección de frutos de pitahaya amarilla-



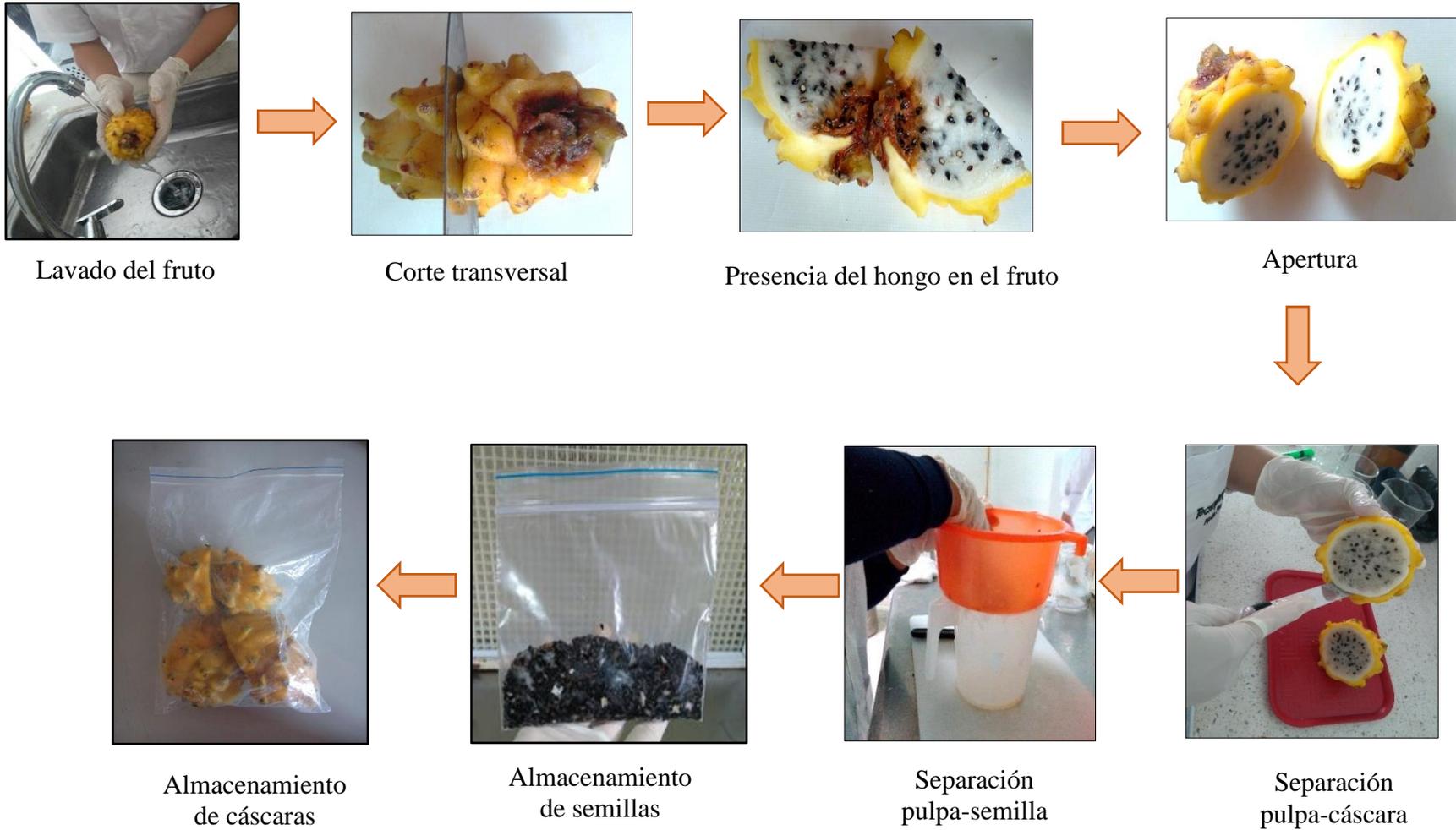
Figura 12. Almacenamiento de frutos de pitahaya amarilla.



4.3. Preparación de las muestras

Inicialmente se realizó un lavado a los frutos con agua destilada para retirar cualquier impureza presente en ellos, posteriormente, debido a la pudrición blanda o seca que presentaban en la parte basal los frutos de pitahaya, se realizaron cortes con un cuchillo de acero inoxidable para retirar la parte afectada, luego se procedió a realizar un corte transversal en cada fruto, el cual permitió separar con ayuda de una cuchara la pulpa de la cáscara, la pulpa se depositó en un colador y se ejerció presión manualmente con el fin de separar las semillas del jugo de los frutos, el jugo de la pulpa extraído fue empleado para realizar las pruebas de sólidos solubles, pH y acidez titulable a todos los estados de madurez. Por otro lado, las semillas se llevaron a un horno de convección natural (Yamato, Colombia) referencia DVS402C, durante 12 horas a 55°C, tiempo necesario que se demoró en tener un peso estándar, estas se emplearon para realizar las pruebas de contenido de aceite, actividad antioxidante, fenoles totales, fibra y cenizas, posteriormente se congelaron las cáscaras a -18°C para almacenarlas hasta el momento de realizar la prueba de pectina, para realizar esta prueba, las cáscaras se descongelaron a temperatura ambiente. El proceso de adecuación de muestras se resume en la Figura 13.

Figura 13. Esquema de adecuación de las muestras de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).



4.4. Análisis microbiológico de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) afectados por el hongo *Fusarium*

Se realizó la siembra microbiológica de un fruto sano y de frutos infectados en los cinco estados de madurez (2 al 6), con el fin de comprobar que el agente patógeno que está afectando los frutos de pitahaya pertenezca al género *Fusarium* y determinar si éste se encuentra presente en las semillas, pulpa y cáscara para así establecer el posible aprovechamiento que se les pueda dar.

La siembra se realizó de la siguiente manera:

Los frutos se desinfectaron con una solución de hipoclorito al 1.5% durante 5 minutos y luego se lavaron con agua destilada para eliminar los desinfectantes que pudiesen interferir con el desarrollo normal del patógeno, los tejidos de pulpa y cáscara se obtuvieron con la ayuda de un bisturí estéril, cortando fragmentos de tejido infectado y sano, de igual manera se cortó tejido del fruto sano. Posteriormente, los fragmentos de tejido y semillas se sembraron en el medio microbiológico de cultivo Agar - Papa Dextrosa (PDA), (Merk, Alemania) colocando tres fragmentos de tejido en cada caja petri, por último, se envolvieron las cajas con papel parafilm y se llevaron a un horno incubadora por convección forzada a 27°C durante 5 días.

Luego de dejar las muestras en incubación, se observó el desarrollo de micelios en las muestras sembradas, posteriormente con un asa de siembra se tocó ligeramente el hongo y se realizó la siembra en placas de PDA usando la técnica de estrías, estas se incubaron a 27° C durante 8 días donde se observó la forma de crecimiento, aspecto, textura, coloración de ambas caras y la producción de pigmentos.

La identificación del hongo se realizó por medio de la técnica de la cinta pegante, para la realización, se tomó 4cm de cinta pegante, teniendo en cuenta que el lado adhesivo quedara hacia afuera, la tira se sostuvo con pinzas y se presionó firmemente sobre la superficie de la colonia del hongo, después de esto la cinta se colocó en el portaobjetos y se realizó la tinción agregando gotas de azul de lactofenol y finalmente las muestras se observaron en el laboratorio de Biología de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, por medio de un microscopio Marca LEICA referencia DM500 y las fotos se tomaron con una cámara LEICA ICC50W. (Anexo b). La observación y

caracterización microscópica del hongo presente en las colonias de los aislamientos, se realizó con el acompañamiento y asesoría de la microbióloga agrícola y veterinaria Catalina Orozco Parra, instructora del Tecnoparque Yamboro y Docente de la Universidad de la Amazonia.

4.5. Caracterización fisicoquímica de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) afectados por el hongo *Fusarium*

4.5.1. Análisis físico

Para determinar las características físicas de los frutos de pitahaya amarilla, se utilizaron los 15 frutos recolectados y se les realizó las siguientes mediciones (Anexo c):

➤ Masa

Para determinar el peso de cada fruto se usó una balanza electrónica (OHAUS, Estados Unidos), modelo Adventurer Pro AV2102, posteriormente se procedió a registrar el valor de cada fruto. El resultado se expresó en gramos.

➤ Peso de cáscara, pulpa y semilla

Para determinar el peso de cáscara, pulpa y semilla, se realizó un corte transversal a cada fruto, posteriormente se retiró la pulpa de la cáscara con la ayuda de una espátula, la pulpa se depositó en un colador al cual se le ejerció presión con el fin de separarla de la semilla. Una vez separadas la cáscara, la pulpa y la semilla de cada fruto se procedió a pesarlas individualmente con la ayuda de la balanza electrónica (OHAUS, Estados Unidos) modelo Adventurer Pro AV2102. El resultado se expresó en gramos.

➤ Longitud y diámetro

Para realizar la medición de la longitud se tomó la medida desde el ápice hasta el pedúnculo de cada fruto y se procedió a registrar el valor de cada uno, también se midió el diámetro de cada fruto, para esto se utilizó un pie de rey y cada valor se expresó en milímetros.

4.5.2. Análisis químico

La caracterización química de los frutos de pitahaya amarilla afectados por el hongo *Fusarium* se llevó a cabo en dos fases: En la primera fase se ejecutó las pruebas preliminares realizadas a los estados 2, 3, 4, 5 y 6, como lo describe la Tabla 8, estas pruebas se les realizaron a tres frutos por estado (Anexo d).

El análisis químico se realizó en dos fases, las cuales se describen posteriormente.

Para desarrollar la primera fase se utilizó la pulpa de cada fruto y esta se depositó en un beaker de 50 ml al cual se le realizaron las siguientes pruebas:

Tabla 8. Pruebas preliminares realizadas.

Tipo de prueba	Parámetro	Parte estudiada del fruto
Pruebas preliminares, realizadas a los estados 2 al 6	Sólidos solubles	Pulpa
	pH	Pulpa
	Acidez	Pulpa

4.5.2.1. FASE 1: Pruebas preliminares

➤ Determinación de Sólidos Solubles

Esta prueba se realizó según lo describe la Norma Técnica Colombiana NTC 4624. Para determinar el contenido de sólidos solubles expresados en grados Brix presentes en el fruto de pitahaya se utilizó un refractómetro de prisma marca 2WAF (Escala de 0 – 100° Brix) a 25 °C, inicialmente

se procedió a limpiar el prisma con agua destilada para luego colocar dos gotas de pulpa de pitahaya y realizar la medición, se observó en dirección de la luz y se tomó la lectura para cada una de las muestras basándose en la escala que tiene el aparato este procedimiento se llevó a cabo para cada uno de los estados, realizando tres mediciones por frutos

➤ Determinación de pH

Esta prueba se realizó según lo describe la Norma Técnica Colombiana NTC 4592. Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro digital marca Hanna, el cual se calibró con buffer a pH 7 y pH 4, la medición se llevó a cabo mediante la inmersión del electrodo y el medidor de temperatura en cada uno de los beakers que contenían el jugo de cada fruto, lavando cuidadosamente el electrodo con agua destilada antes y después de tomar cada dato, realizando tres mediciones por fruto.

➤ Determinación de Índice de Acidez Titulable

Esta prueba se realizó según lo describe la Norma Técnica Colombiana NTC 4623. Se midió en un beaker 10 ml de jugo de la pulpa de pitahaya, se le adiciono 20 ml de agua destilada y dos gotas de fenolftaleína al 1% con la ayuda de un gotero, posteriormente se adecuó el montaje de la bureta y se agregó a esta el Hidróxido de sodio NaOH al 0.1 N, con las muestras y el montaje listo se procedió a realizar la titulación adicionando los miligramos de NaOH necesarios para titular el ácido cítrico presente en los frutos de pitahaya amarilla, este procedimiento se hizo para tres frutos de cada estado, realizando tres mediciones por fruto.

- El cálculo de acidez se realizó en base a la siguiente ecuación 1:

$$\mathbf{Acidez} = \frac{V_{NaOH} * N * Meq}{V_{muestra}} * 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde:

V_{NaOH} = Volumen de NaOH consumido durante la titulación (ml)

N = Normalidad de NaOH ($0,1 \frac{meq}{ml}$)

Meq = Peso equivalente de ácido cítrico ($0,064 \frac{g}{meq}$)

V = Volumen de la muestra a titular (10ml)

4.5.2.2. FASE 2: Pruebas complementarias

Con los resultados obtenidos en las pruebas preliminares se realizó un ANOVA simple con el fin de seleccionar los estados que presentaran diferencia estadísticamente significativa, con estos frutos se procedió a realizar la segunda fase de la caracterización química correspondiente al desarrollo de las pruebas complementarias, las cuales se muestran en la Tabla 9.

Para desarrollar esta fase se utilizaron los frutos usados en la fase anterior de los estados que presentaron diferencia estadísticamente significativa, empleando únicamente las semillas y cáscaras de los estados representativos de la variación de las propiedades químicas analizadas en las pruebas preliminares.

Tabla 9. Pruebas complementarias realizadas.

Tipo de prueba	Parámetro	Fracción estudiada del fruto
Pruebas complementarias en los estados seleccionados.	Contenido de aceite	Semillas
	Fenoles totales	Semillas
	Actividad antioxidante	Semillas
	Cenizas totales	Semillas
	Fibra cruda	Semillas
	Pectina	Cáscara

➤ Determinación de Contenido de Aceite

El método estándar para el análisis del contenido de aceite en las semillas, está basado en la extracción con éter de petróleo en un extractor Soxhlet. Para determinar el contenido de aceite de las semillas de frutos de pitahaya, se procedió a macerarlas. Se determinó el contenido de humedad y se realizó la extracción del aceite por método Soxhlet llevando a cabo tres réplicas de extracción para cada muestra y así obtener un valor de rendimiento más confiable (Caldas, 2012).

➤ Determinación de Fenoles Totales

La cuantificación de los compuestos fenólicos totales fue determinada por espectrofotometría UV mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como estándar, se prepararon soluciones de 20 a 200 ppm para construir la recta. Se tomaron 150 μ l de cada concentración y se adicionó 90 μ l de Folin-Ciocalteu 2N, 150 μ l de Na_2CO_3 y 2610 μ l de Buffer Citrato-Fosfato. El espectrofotómetro fue calibrado con solución Metanol: Buffer (50:50 v/v) a una longitud de onda de 760nm y absorbancia 0.

La concentración de fenoles se reporta en términos de concentración equivalente de ácido gálico por gramos de muestra (mg Acido gálico /g muestra). (Castro, 2008).

➤ Determinación de Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante se evaluó con base en la técnica descrita por Ozgen *et al.* (2010). Se preparó una solución metanólica de DPPH (1,1 -difeníl-2-picrilhidrazil) 60 μ M y se mezcló con 60 μ l de extracto metanólico de las muestras a evaluar. La absorbancia se midió a 515 nm antes de adicionar el extracto y 60 minutos después de adicionarlo. La actividad antioxidante se reportó como moles de Trolox equivalentes por gramo de materia prima en polvo seco después de la elaboración de la curva estándar de Trolox basada en la reducción de la absorbancia después de 60 minutos.

➤ Determinación de Cenizas Totales

Se realizó siguiendo el método 942.05/90 de la AOAC (Hart y Johnstone, 1991; AOAC, 1990), secando previamente las muestras a 110 °C y posteriormente calcinadas a una temperatura de 550 °C, hasta que las cenizas quedaron completamente grises.

➤ Determinación de Fibra Cruda

Se tomaron muestras previamente desengrasadas y se les hizo digestión ácida en presencia de H₂SO₄ a 0.255 N y digestión alcalina en presencia de NaOH a 0,313 N. Para la determinación del porcentaje de fibra, fue utilizado el método Weende 962.09/90 de la AOAC (Bernal, 1994; AOAC, 1990).

➤ Pectina

La pectina se evaluó con base en la norma NMX-F-347-S-1980 FRUTAS Y DERIVADOS. (Anexo f).

4.6. Análisis estadístico

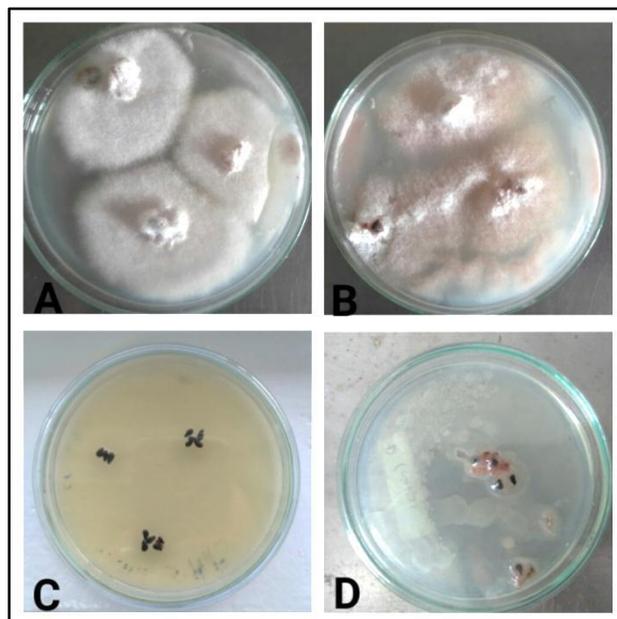
Se realizó el test de normalidad de Shapiro-Wilk, para determinar si los datos presentaban una distribución normal. El análisis estadístico se realizó por medio de una ANOVA simple con un nivel de confianza del 95 %, considerando como variables dependientes porcentaje de pulpa, semilla, cáscara, Sólidos Solubles, pH y Acidez, como variable independiente o de respuesta se consideró los estados de maduración. El procesamiento estadístico de la información se efectuó mediante el software STATGRAPHICS CENTURION XV®. De igual forma se aplicó estadística descriptiva para las variables medidas en las pruebas complementarias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis microbiológico

Tras incubar a 27 °C, durante cinco días las muestras, se observó la presencia del hongo, en la pulpa de todos los estados de maduración, al igual que en la cáscara, inicialmente se observó una colonia blanca con micelio algodonoso, cuya coloración varió de color blanco a rosa salmón, que al envejecer se tornó de color violeta o púrpura, mientras que en las semillas no se hizo evidente la presencia del patógeno, al igual que en las fracciones del fruto sano, los resultados de la siembra se muestran en la Figura 14, en donde se observa la apariencia, crecimiento y coloración del hongo.

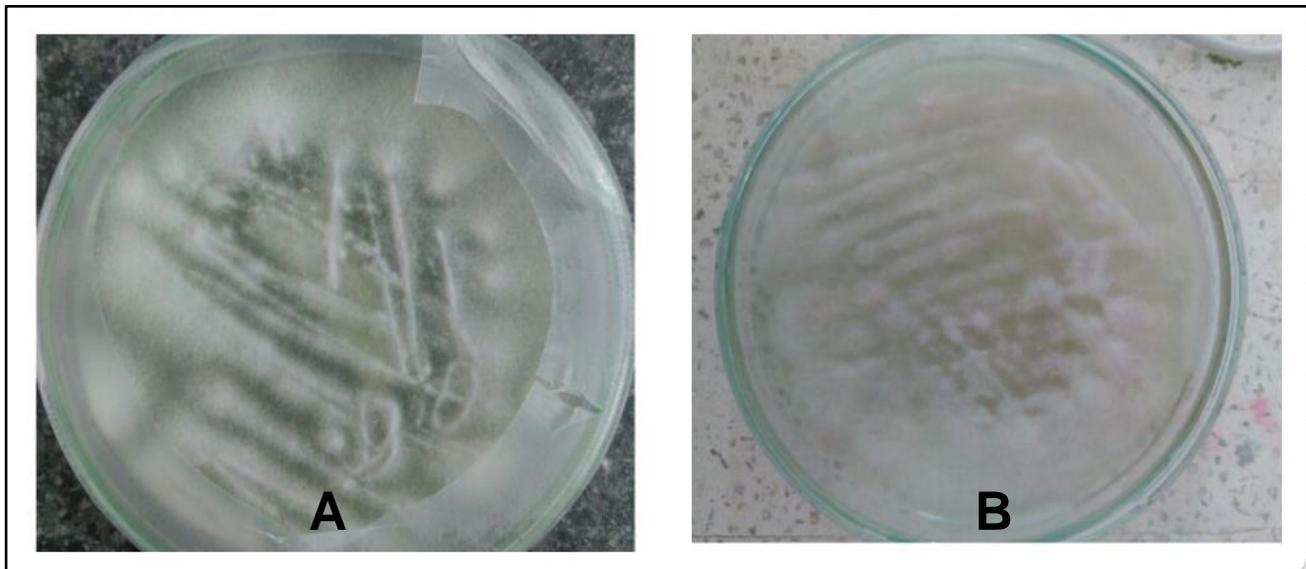
Figura 14. Siembra microbiológica para identificar el hongo patógeno en frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*); **a.** Cepa de *Fusarium* en pulpa, siembra directa en medio PDA a partir de material vegetal enfermo. **b.** Cepa de *Fusarium* en cáscara. **c.** Siembra en PDA de semillas. **d.** Siembra en PDA a partir de pulpa de fruto sano.



Según los resultados obtenidos en la siembra microbiológica, la pulpa y cáscara de los frutos analizados, se encuentran afectadas por el hongo, por lo que se recomienda que estas fracciones no sean utilizadas para consumo en fresco o para aprovechamiento en la industria alimenticia para el hombre y los animales, ya que este género de hongo patógeno, tiene la capacidad de producir micotoxinas, las cuales pueden afectar de formas diversas al hombre y a los animales que ingieren alimentos contaminados con esos hongos, ocasionando enfermedades sistémicas e infecciones en uñas y cornea (Arbeláez, 2000).

Las colonias de *Fusarium* obtenidas a partir de los aislamientos de tejido de pulpa y cáscara sobre PDA, se pueden apreciar en la Figura 15, en donde se observa las características macroscópicas como, micelio de textura algodonosa, con pigmentos de color blanco y salmón pálido, características morfológicas similares a las descritas por (Leslie y Summerell, 2006) para *Fusarium*.

Figura 15. Aislamiento del hongo *Fusarium* en PDA; a. Cáscara b. Pulpa.



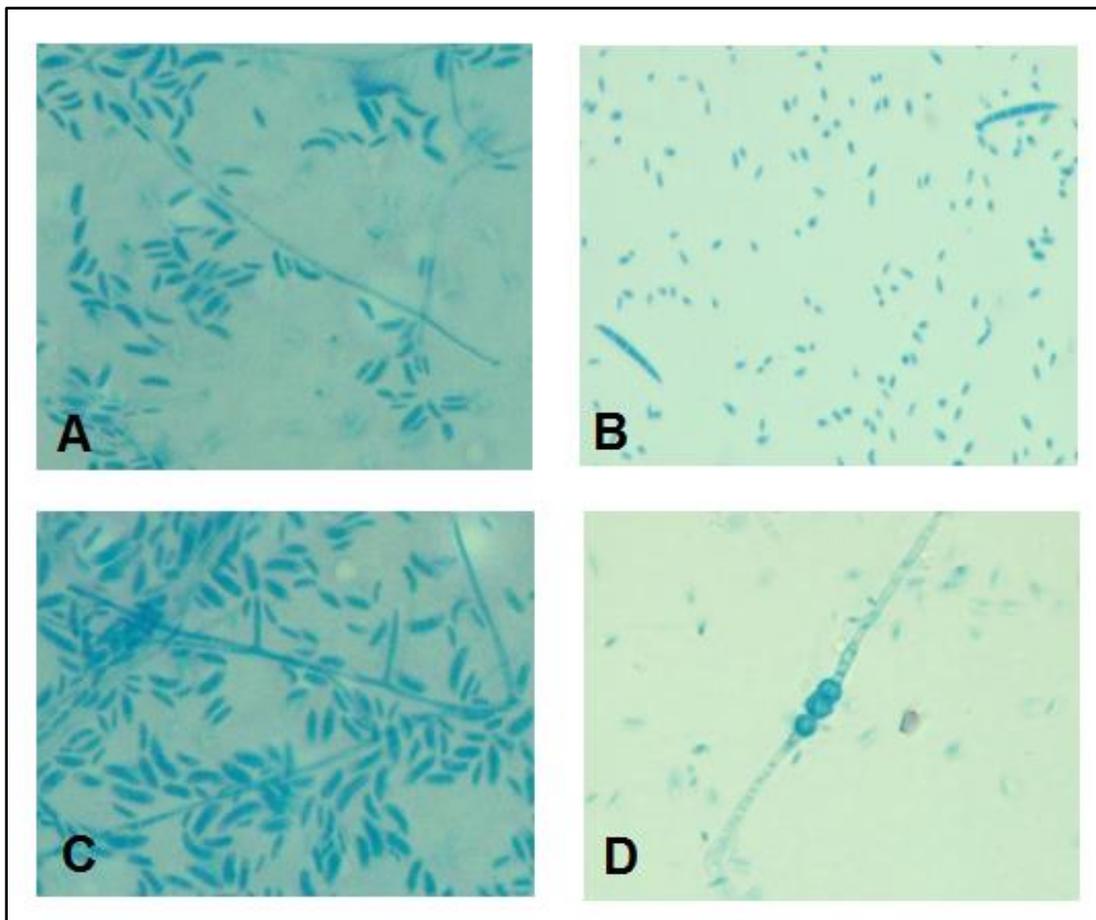
Fuente. Autoras

Se identificó que el organismo causal de la pudrición basal en los frutos de pitahaya amarilla analizados pertenece al género *Fusarium* especie *oxysporum*, como lo afirma Salazar, Serna & Gómez (2016), quienes realizaron la caracterización molecular de *Fusarium* asociado a pudrición

basal del fruto de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*), encontrando que la pudrición basal de la pitahaya amarilla es causada por *Fusarium oxysporum*.

En la Figura 16, se muestran las características taxonómicas de *Fusarium oxysporum*, donde se puede observar abundantes microconidias más comúnmente de forma oval, la mayoría sin septos y que se forman sobre monofiliades cortos como se observa en la Figura 16C, en el caso de macroconidias estas presentaron forma alargada en media luna, con 2 y 3 septos con algunas diferencias entre ellas, ya que unas son un poco más cortas y otras menos curvas, también se hizo evidente hifas finas e hiladas, esporodocios donde se agrupan las esporas y clamidosporas.

Figura 16. Estructuras microscópicas de *Fusarium oxysporum* (40X); **a.** Abundantes microconidias, de forma alargada y de una sola célula. **b.** Macroconidias en forma de media luna y con dos septos. **c.** Monofiliades acompañados de microconidias y **d.** Clamidosporas.



Fuente. Autoras

5.2. Caracterización fisicoquímica

5.2.1. Análisis físico

- Comportamiento de la longitud y diámetro respecto al peso

Los frutos de pitahaya amarilla analizados presentaron un rango de peso entre 100 g y 313 g que corresponde a un diámetro de 53 mm y 86 mm y una longitud de 81 mm y 115 mm, respectivamente. Al relacionar los diámetros y la longitud con el peso de los frutos, como se muestra en la Figura 17 y 18, se observó que existe una relación directa entre estas variables, siendo directamente proporcional, ya que, al aumentar el diámetro y la longitud del fruto también lo hace el peso. La dispersión de los datos de la variable longitud tuvieron un coeficiente de correlación $R= 0.7989$, indica que esta medida presentó mayor variación con respecto a la variable diámetro cuyo coeficiente de correlación fue de $R= 0.9221$.

En el estudio realizado por (Rojas *et al.*, 2004), los frutos de pitahaya amarilla sanos presentaron un rango de peso de 70 g a 390 g con longitudes de 80 mm a 140 mm y diámetros de 45 mm a 90 mm respectivamente; lo anterior lleva a concluir que el hongo no afecta el desarrollo normal del fruto, ya que los resultados de peso, longitud y diámetro son semejantes al de un fruto sano. Por otro lado, Medina y Mendoza (2011), afirman que, dependiendo de la variedad, la pitahaya puede medir ente 80 y 120 mm de largo y 60 a 100 mm de diámetro y llegar a pesar hasta 380 g. Cabe mencionar que el tamaño y peso de los frutos, se encuentran relacionados con la variedad, el manejo de buenas prácticas agrícolas, tipo de suelos y condiciones ambientales (Cerdas, Montero & Díaz, 2006). Castillo, Livera & Márquez (2005), afirman que el peso total, longitud, diámetro y grosor del pericarpio de los frutos de pitahaya, son las características de mayor importancia.

Figura 17. Comportamiento de las medidas de longitud (mm) respecto al peso (g) del fruto de pitahaya amarilla.

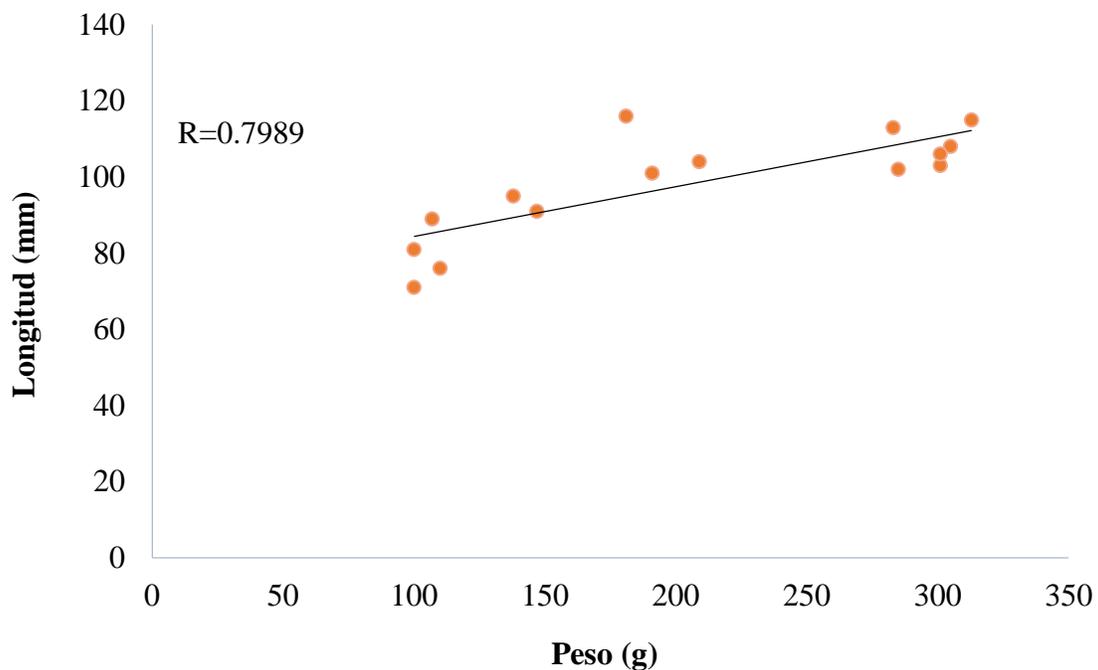
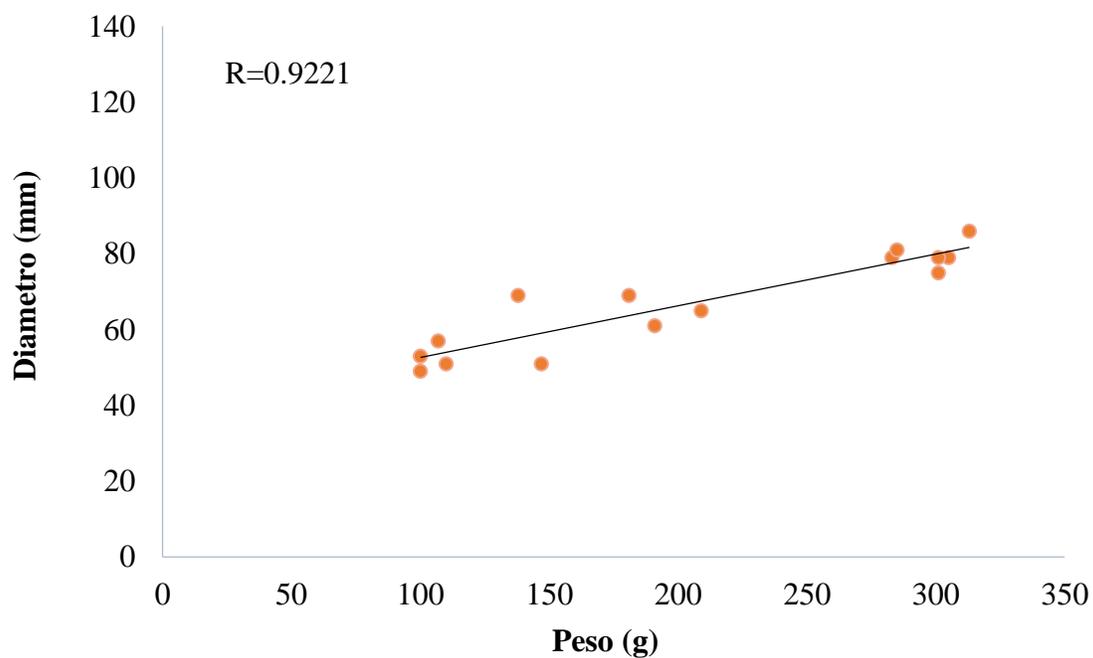
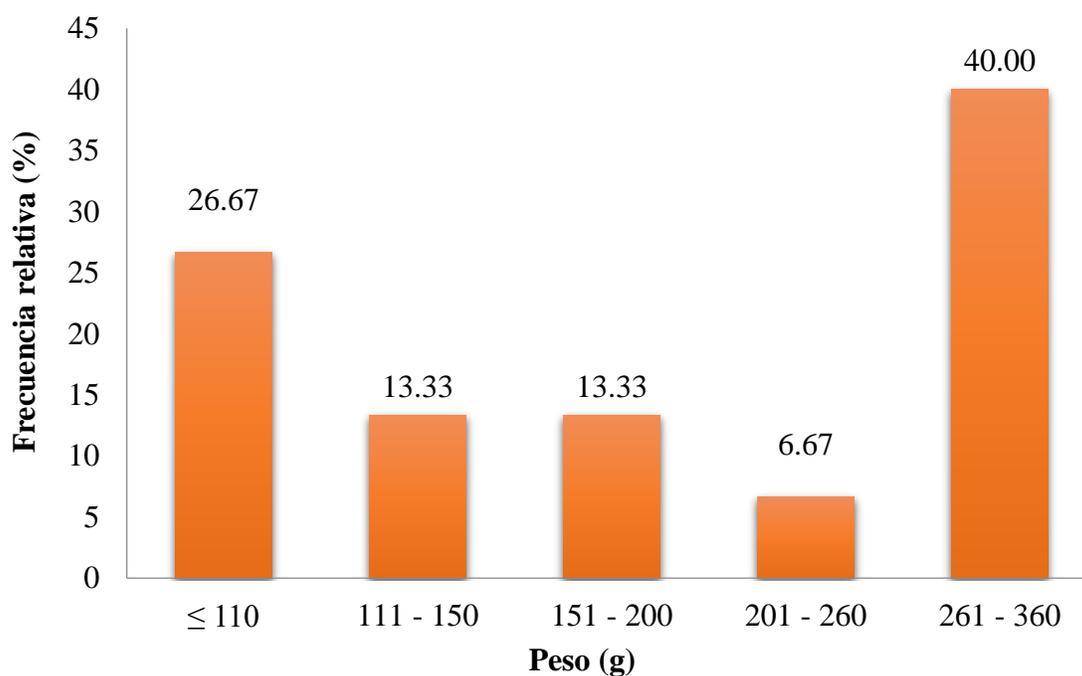


Figura 18. Comportamiento de las medidas de diámetro (mm) respecto al peso (g) del fruto de pitahaya amarilla.



Los frutos estudiados presentaron un rango de peso entre 100 g - 360 g, donde aquellos que se encontraban entre 261 g y 360 g, representaron la mayor frecuencia relativa con el 40%; los frutos con pesos entre 201 g – 260 g presentaron la menor proporción con un valor de 6.67 %, como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Distribución de frecuencia por pesos.



➤ Porcentaje pulpa, semilla y cáscara

Se determinó el rendimiento de 15 frutos de pitahaya amarilla en 5 estados de maduración, mediante la relación del peso total del fruto y el peso de la pulpa, semilla y cáscara. En relación con el peso fresco del fruto y sus fracciones en los estados 2, 3 y 4 se presentó mayor proporción de cáscara y semilla que de pulpa, mientras que en los frutos maduros aumentó la proporción de pulpa, respecto a la de cáscara y semilla. Durante el cambio de color se pudo observar que en los estados 5 y 6, el porcentaje de peso fresco de pulpa aumentó significativamente, alcanzando los

valores de 45.33 ± 1.53 y 48.19 ± 0.95 , del peso total del fruto respectivamente, mientras que el porcentaje en peso de cáscara y semilla disminuyó, como se observa en la Tabla 10. El incremento de pulpa durante el cambio de estado se podría ocasionar debido a la degradación del almidón y pectina desde los primeros estados y a la síntesis de agua como uno de los productos del metabolismo, lo que hace que la fruta sea más blanda y jugosa cuando está madura (Guerrero, 2014).

Este comportamiento se asimila a lo reportado por (Guerrero, 2014), quien establece que los porcentajes de pulpa y corteza para el grado de color 1 fueron de 45.4 % y 54.6 %, respectivamente; a medida que los frutos de pitahaya cambian de color verde a amarillo el porcentaje en peso de pulpa incrementó hasta el grado de color 5 y de manera constante hasta el grado de color 6 con un porcentaje de pulpa de 63.7.

Estadísticamente existe diferencia entre el porcentaje de cáscara de los estados 2, 3, 5 y 6, mientras que el estado 4 no presentó diferencia estadística con el estado 2 y 3, con respecto al porcentaje de semilla, se pudo analizar que el estado 6 presentó diferencia estadísticamente significativa respecto a los otros estados, de igual forma se pudo percibir que no existen diferencias entre los estados 2 y 3 que forman un grupo homogéneo, al igual que los estados 4 y 5 que forman otro, por otro lado, en el porcentaje de pulpa se formaron un grupo homogéneo entre los estados 3 y 4, siendo los estado 2, 5 y 6 los que presentaron diferencia estadísticamente significativa respecto a los otros estados, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Pesos frescos en porcentaje de cáscara, semilla y pulpa del fruto de pitahaya amarilla en cinco estados de madurez.

Estado	Promedio (%) Cáscara	Promedio (%) Semilla	Promedio (%) Pulpa
2	59.79 ± 1.09 ^{a*}	11.47 ± 0.34 ^a	26.26 ± 0.64 ^a
3	57.46 ± 1.23 ^b	11.79 ± 0.15 ^a	28.46 ± 0.50 ^b
4	58.02 ± 1.03 ^{ab}	9.37 ± 0.16 ^b	30 ± 1.00 ^b
5	43 ± 1.00 ^c	9.34 ± 0.15 ^b	45.33 ± 1.53 ^c
6	40.26 ± 0.83 ^d	9.91 ± 0.28 ^c	48.19 ± 0.95 ^d

* Valores de las medias con letras diferentes en una columna, presentan diferencia estadística significativa a un nivel de confianza del 95%, según prueba estadística de Kruskal Wallis para datos no paramétricos.

5.2.2. Análisis químico

5.2.2.1. FASE 1: Pruebas preliminares

En la Tabla 11, se pueden apreciar los promedios de las tres replicas realizadas a cada fruto, por cada una de las pruebas químicas.

Tabla 11. Promedio pruebas químicas preliminares.

Estado	Promedio (°Brix) Solidos Solubles	Promedio pH	Promedio (%) Acidez Titulable
2	17.0 ± 0.07 ^{a*}	4.1 ± 0.02 ^a	0.032 ± 0.001 ^a
3	16.3 ± 1.33 ^a	4.2 ± 0.10 ^a	0.029 ± 0.003 ^a
4	14.2 ± 0.97 ^b	4.1 ± 0.07 ^a	0.033 ± 0.001 ^a
5	13.8 ± 0.71 ^b	4.4 ± 0.16 ^b	0.023 ± 0.003 ^b
6	11.3 ± 0.57 ^c	5.0 ± 0.10 ^c	0.016 ± 0.002 ^c

* Valores de las medias con letras diferentes en una columna, presentan diferencia estadística significativa a un nivel de confianza del 95%, según prueba estadística de Kruskal Wallis para datos no paramétricos.

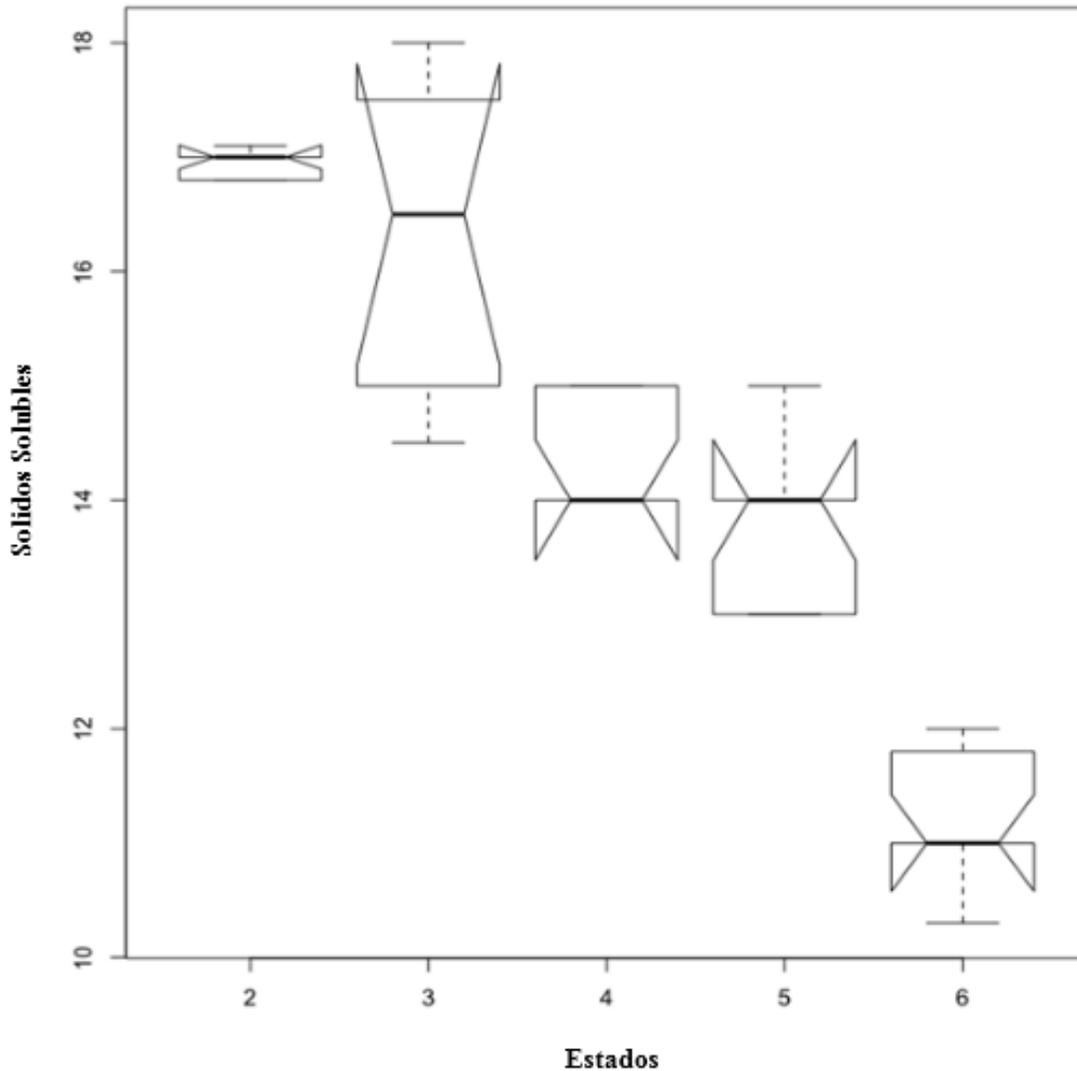
➤ Determinación de Solidos solubles

Los frutos de pitahaya amarilla presentaron una variación de 11.3 a 17.0 °Brix en la concentración de solidos solubles. El análisis realizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los grados de madurez, con un nivel del 95.0% de confianza, puesto que el valor ($P < 0.05$). En la Figura 20, se observa que se formaron tres grupos homogéneos respecto a las medianas de cada estado, según la muesca sobre la mediana se puede analizar que el estado 6 presentó diferencia estadísticamente

significativa respecto a los otros estados ya que el corte de la muesca no se traslapa con el de los otros estados, de igual forma se puede percibir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los estados 2 y 3 que forman un grupo homogéneo, al igual que los estados 4 y 5 que forman otro, debido a que los cortes se traslapan.

Se puede decir que la variación de los resultados durante el desarrollo y maduración del fruto no se debe a la afectación del hongo, ya que este comportamiento concuerda con lo hallado en el estudio de (Rojas *et al.*, 2004) quienes afirman que esta característica no presenta diferencias con el avance de los estados de madurez, por lo que concluye que el contenido de sólidos solubles no es un buen indicador de la madurez para la pitahaya amarilla, igualmente Gallo citado por Rodríguez, Patiño, Lasprilla, Fischer, y Galvis (2005) afirma que los sólidos solubles no son un referente confiable para identificar el estado de madurez de este fruto, teniendo en cuenta que estos pueden variar con el tamaño y las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto. En otro estudio realizado por (Guerrero, 2014) a frutos de pitahaya amarilla sanos en distintos grados de maduración, se encontró que el contenido de sólidos solubles incrementó hasta el grado de color 3 con un valor de 17.17 ± 0.047 y desde el grado de color 4, hasta el grado de color 6 disminuyó su contenido a un valor de 16.17 ± 0.13 , por lo que concluye que la disminución en el contenido de Sólidos solubles se debería a que la fruta utilizó los azúcares en el metabolismo de maduración.

Figura 20. Gráfico de caja y bigotes de solidos solubles por estados.



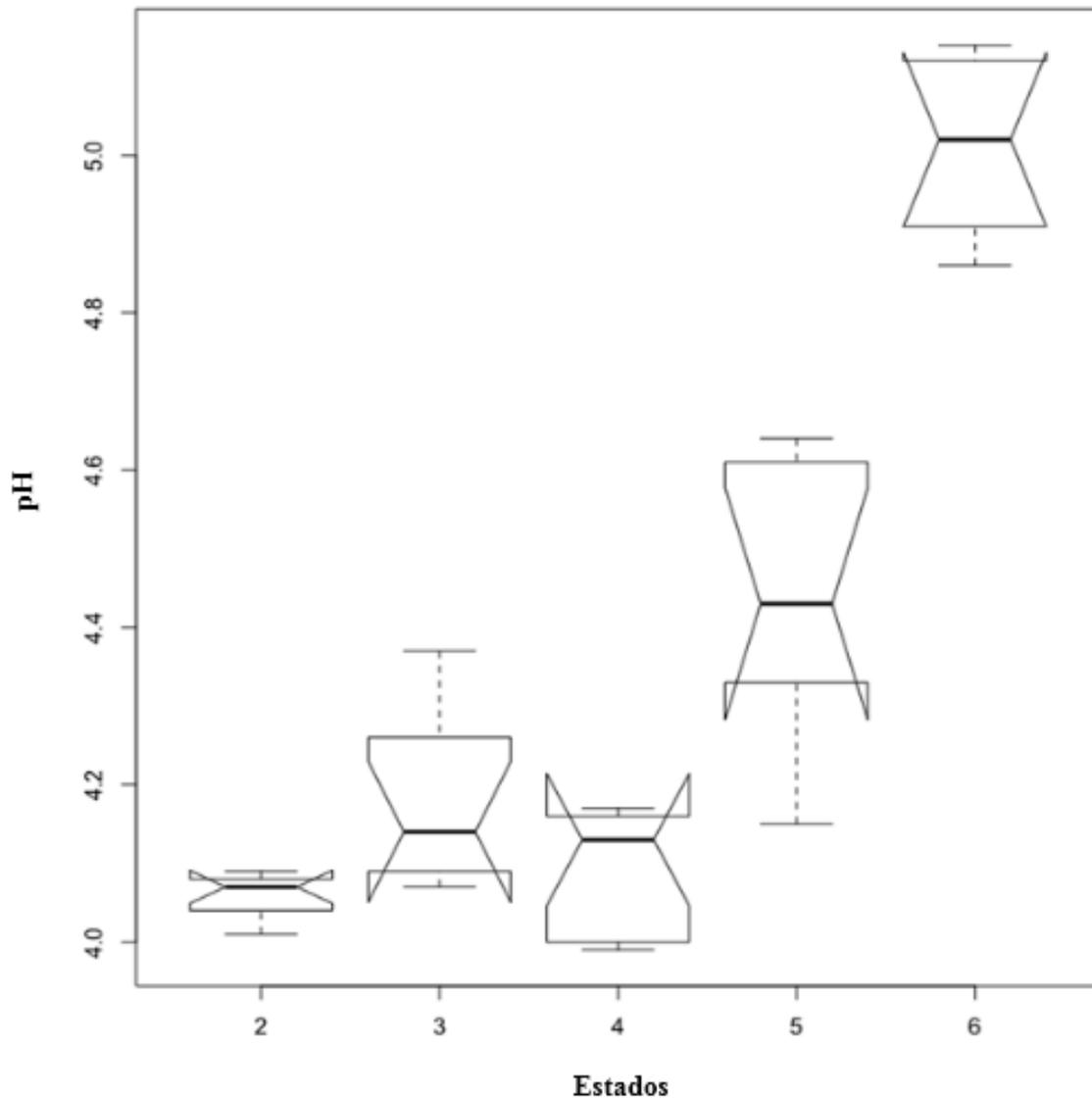
➤ Determinación de pH

Se encontraron valores de pH entre 4.1 y 5.0 en los estados de madurez de la pitahaya amarilla así, este fruto puede ser clasificado como medianamente ácido. El análisis realizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los grados de madurez, con un nivel del 95.0% de confianza, puesto que el valor ($P < 0.05$). En la Figura 21, se observa que se formaron tres grupos homogéneos respecto a las medianas de cada estado, según la muesca sobre la mediana se puede analizar que los estados 5 y 6 presentaron diferencia estadísticamente significativa respecto a los otros estados ya que el

corte de la muesca no se traslapa con el de los otros estados, de igual forma se puede percibir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los estados 2, 3 y 4 que forman un grupo homogéneo, debido a que los cortes de las muescas de las medianas se traslapan.

Los valores de pH encontrados en el presente estudio, se encuentran dentro del rango establecido en la investigación realizada por Guerrero (2014), quien indica que este parámetro químico durante el proceso de maduración de los frutos sanos de pitahaya amarilla tuvo un incremento de 4.26 ± 0.38 a 4.72 ± 0.03 . Pimienta y Tomas, citados por Campos, Pinedo, Campos & Hernández (2011), evaluaron el pH en 25 variedades de frutos de pitaya (*S. queretaroensis*) encontrando que el pH de la pulpa tuvo una variación de 4 a 5, valores similares a los encontrados en el presente estudio de pitahaya amarilla. En otro estudio reportado por (Rodríguez, Patiño, Lasprilla, Fischer & Galvis, 2005) encontraron valores de pH de 5.0 a 5.33 en pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw), determinando que estos valores de pH correspondieron a frutos en madurez fisiológica. Por otro lado, Creuci *et al.* (2011), obtuvieron un rango de pH entre 4.23 y 5.0, por lo que concluyeron que es un pH reducido, y lo clasificaron como un fruto medianamente ácido.

Figura 21. Gráfico de caja y bigotes de pH por estados.



➤ Determinación de porcentaje de Acidez Titulable

El ácido predominante en el fruto de pitahaya amarilla es el cítrico (Rodríguez, Patiño, Lasprilla, Fischer & Galvis, 2005). Los estados 5 y 6 tuvieron porcentajes de acidez de 0.023 y 0.016 respectivamente, lo que indica que a partir del estado 4 se presentó una disminución debido a que se encontraban en la fase final de maduración. El análisis realizado mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre

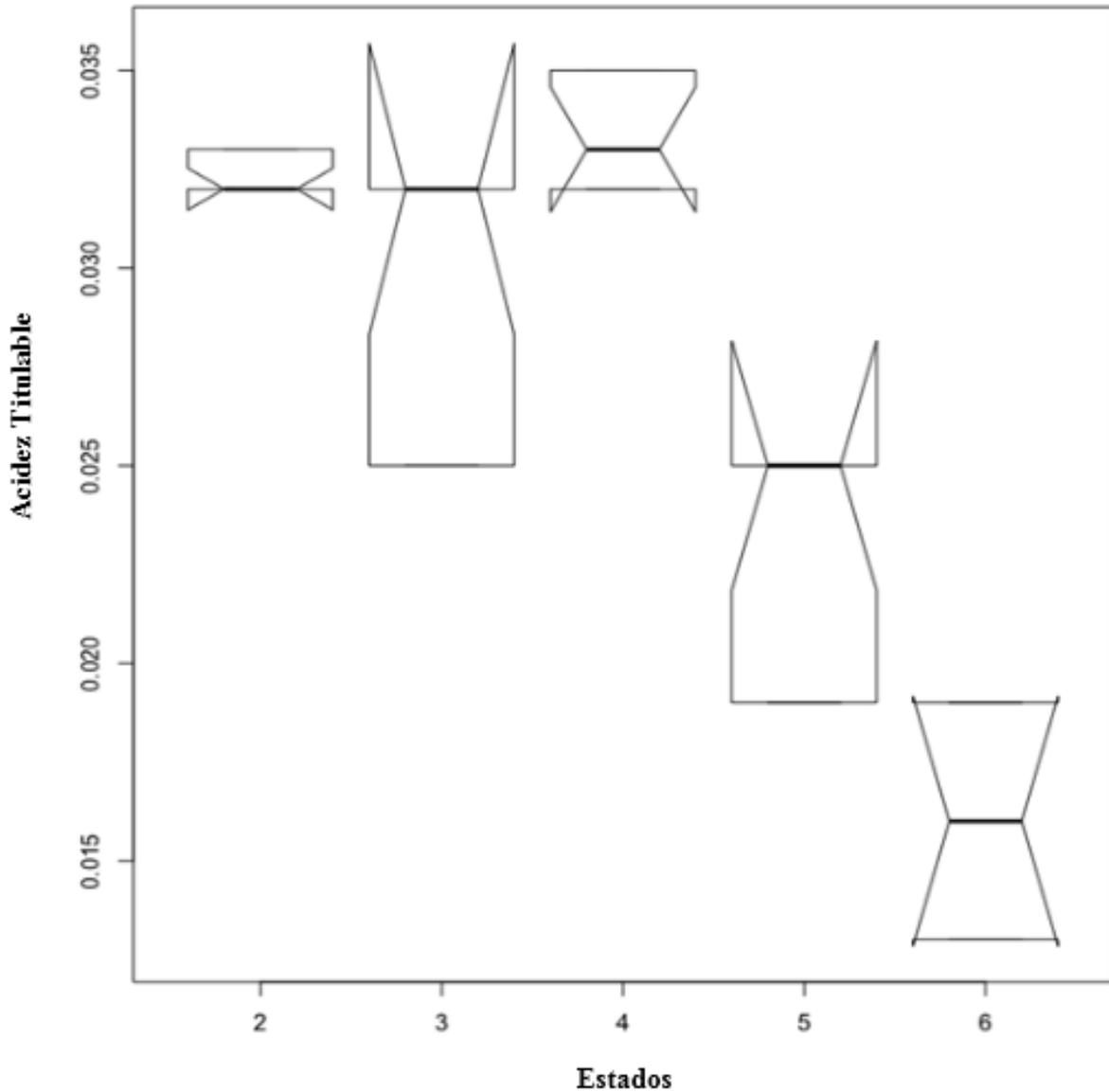
las medianas de los grados de madurez, con un nivel del 95.0% de confianza, puesto que el valor ($P < 0.05$). En la Figura 22., se observa que se formaron tres grupos homogéneos respecto a las medianas de cada estado, según la muesca sobre la mediana se puede analizar que los estados 5 y 6 presentaron diferencia estadísticamente significativa respecto a los otros estados ya que el corte de la muesca no se traslapa con el de los otros estados, de igual forma se puede percibir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los estados 2, 3 y 4 que forman un grupo homogéneo, debido a que los cortes de las muescas de las medianas se traslapan.

Nerd y Mizrahi, citados por Corrales (2002), encontraron que la acidez de la pulpa de pitahaya amarilla permaneció sin cambios entre las etapas 2 y 4, después disminuyó en la etapa 5 cuando el color de la cáscara era completamente amarillo, comportamiento similar a lo hallado en los frutos de pitahaya amarilla afectados por el hongo *Fusarium*. Según Osuna, *et al.*, (2011), durante el proceso de maduración de los frutos, se presenta una disminución en el contenido de ácidos orgánicos, debido a que son utilizados durante la respiración, bajando así la acidez del fruto. A partir de los resultados obtenidos, se puede decir que la pitahaya amarilla se identifica como un fruto dulce y poco ácido en todos los estados de maduración.

En el estudio realizado por (Rojas *et al.*, 2004), observaron que los valores de ácido cítrico presentaron disminución respecto al estado de madurez de la pitahaya, donde el estado 0 presentó un valor de 0.34% y el estado 6 de 0.21%, por lo que concluyeron que esta fruta es poco ácida, debido al bajo contenido de ácido reportado. Mientras que Cañar, Caetano & Macgayver (2014), obtuvieron valores de 1.03 – 1.99 mg de ácido cítrico/100 g de peso en fresco, para acidez total en los frutos de pitahaya amarilla, estos valores fueron comparados con los frutos de *Hylocereus sp.*, los cuales presentan acidez titulable entre 3.1 y 6.8 g/L. Por lo que determinaron que los frutos de pitahaya amarilla tienden a ser más dulces a diferencia de la pitahaya roja por su nivel de acidez. Por otro lado, Aguilar (2016) determinó la calidad física y química de las variedades de pitahaya amarilla ‘Palora’ y ‘Nacional’, encontrando que la fruta de variedad ‘Nacional’ cosechada en forma temprana tiene mayor acidez (0.09) que la tardía (0.06), mientras que la fruta para exportación de variedad ‘Palora’ tiene mayor acidez (0.14) cuando es cosechada en época temprana y aquella para mercado local una acidez de (0.09).

Al comparar los resultados de acidez de los frutos enfermos con estudios realizados a frutos sanos se pudo evidenciar que no hay un valor semejante en el contenido de ácido cítrico, por lo tanto, se puede llegar a concluir que los valores obtenidos se pueden dar a causa de las diferentes condiciones climáticas y tipo de suelo en que se encuentra establecido el cultivo.

Figura 22. Grafico caja y bigotes de acidez titulable por estados.



Con el análisis de varianza que se realizó a cada una de las variables independientes (Solidos solubles, pH, acidez titulable, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los

estados 3, 5 y 6; debido a que no se contaba con los recursos necesarios para realizarle a estos tres estados las pruebas complementarias de aceite, cenizas totales, pectina, fenoles totales, fibra, actividad antioxidante, se seleccionaron los estados 3 y 6, con el fin de conocer las propiedades químicas tanto de frutos en estado maduro como pintón.

5.2.2.2. FASE 2: Pruebas complementarias

Las siguientes pruebas complementarias fueron realizadas a los estados 3 y 6, teniendo en cuenta los resultados del análisis estadístico anteriormente descrito, con el objetivo de identificar las propiedades químicas presentes en la semilla y cáscara que permitan el desarrollo de un insumo de tipo agroindustrial y por lo tanto establecer los productos que se pueden obtener a partir de estas fracciones. En la Tabla 12 se presentan los resultados de cada una de las pruebas complementarias realizadas a los estados 3 y 6.

Tabla 12. Resultados pruebas complementarias.

Pruebas complementarias	Unidad	Estado	Resultado
Aceite	%	3	29.28 ± 0.14
		6	34.63 ± 0.35
Cenizas Totales	%	3	3.10 ± 0.02
		6	3.67 ± 0.02
Pectina	%	3	14.80 ± 0.04
		6	10.43 ± 0.06
Fenoles Totales	mg ácido gálico/ g muestra	3	34.87 ± 0.19
		6	31.99 ± 0.25
Actividad Antioxidante	(EC ₅₀ ppm)	3	1654.36 ± 4.1
		6	1873.27 ± 0.76
Fibra	(g/100 g de muestra)	3	1.26 ± 0.01
		6	1.21 ± 0.02

➤ Contenido de Aceite

Las semillas de pitahaya amarilla registraron porcentajes de aceite con una pequeña diferencia entre estados, encontrando contenido de aceite en las semillas de los frutos pintones de 29.28 ± 0.14 % y en las semillas de los frutos maduros de 34.63 ± 0.35 %, se pudo observar que el porcentaje de aceite en las semillas fue aumentando a medida que el fruto alcanzó su grado de madurez máximo, por lo que se puede inferir que para un posible aprovechamiento los frutos maduros muestran cierta ventaja respecto a los frutos verdes.

El contenido de aceite presente en las semillas de los frutos estudiados supera valores reportados en semillas de frutas como maracuyá con un porcentaje de 15.7 ± 0.5 (Pantoja, Hurtado & Martínez, 2017), lulo de 8.5% y mora de 12.2% (Cerón, Osorio & Hurtado, 2012), las cuales son estimadas como fuente potencial de aceite según los autores, por lo que se puede considerar a las semillas de pitahaya amarilla como una opción promisorias para la extracción de aceite, así mismo los valores encontrados fueron superiores a lo reportado por Chemah, Aminah, Noriham & Wan Aida (2010), quienes determinaron que las semillas de los frutos de pitahaya amarilla contienen 18.8 ± 0.8 de aceite, estos autores también apreciaron que el ácido linoléico se encuentra en mayor proporción en las semillas de pitahaya *S. megalanthus* (654 g/kg) con respecto a *H. undatus* (538 g/kg) e *H. polyrhizus* (487 g/kg), Funcionalmente el consumo de este ácido graso trae beneficios anticancerígenos, antiinflamatorios, contribuyendo a la formación de membranas y hormonas además de contribuir al correcto funcionamiento del sistema inmune (Saavedra, 2003).

De acuerdo al porcentaje de aceite encontrado en las semillas de los frutos de pitahaya amarilla, es posible decir que presenta un alto contenido del mismo, por lo que se puede estimar como materia prima para el aprovechamiento industrial, así mismo, se pueden considerar como una fuente de aceite para uso alimentario, cosmético o farmacéutico, ya que el aceite que contienen las semillas es de seguro y suave efecto laxante, por lo cual es muy utilizado por personas con problemas de estreñimiento. Debido a esto, se considera que es necesario desarrollar tecnologías para el aprovechamiento de las semillas provenientes de los frutos desechados, con el fin de extraer el aceite contenido en ellas, como una alternativa para agregar valor a esta parte del fruto.

➤ Cenizas Totales

El contenido de cenizas totales presentes en las semillas de los frutos estudiados, registró porcentajes semejantes entre estados, mostrando equilibrio en la porción de elementos químicos simples cuya presencia e intervención es imprescindible para la actividad de las células, control del metabolismo y desarrollo de las funciones vitales del cuerpo, encontrando valores de $3.103 \pm 0.02\%$ para el estado 3 y $3.67 \pm 0.02\%$ para el estado 6. En los frutos de pitahaya amarilla, los minerales de mayor presencia son el calcio y el fósforo (Guerrero, 2014), estos minerales son los que más abundan en el cuerpo humano cumpliendo funciones estructurales y energéticas, manteniendo huesos y dientes, además de controlar el pH de la sangre (Hernández, 1984).

Chemah, Aminah, Noriham & Wan Aida (2010), encontraron que el porcentaje de cenizas totales en las semillas de pitahaya amarilla es de $3.8 \pm 0.1\%$ cuyo valor se asemeja a lo encontrado en este estudio, por otro lado, estos valores superan a lo reportado en diferentes semillas, como mora con 2.0% (Conrado, 2008), maracuyá 1.70% (Pantoja, Hurtado & Martínez, 2017), mango 2.46% Chaparro, *et al.* (2015) y guanábana 2.29% (Chaparro, Tavera, Martínez & Gil, 2014). Cabe resaltar que el porcentaje de cenizas totales es un dato del análisis composicional de los productos alimentarios; por lo tanto, este valor no hace referencia la cantidad exacta de minerales de la muestra, debido a que a temperaturas superiores a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ se forman cloruros volátiles con diversos cationes como el sodio, cadmio y otros. (Adrian, citado por Lara, Nerio & Oviedo, 2007).

➤ Pectina

En las cáscaras de los frutos estudiados de pitahaya afectados por el hongo, se encontraron porcentajes de $10.43 \pm 0.06\%$ a $14.80 \pm 0.04\%$ (con base a peso seco), para los estados 6 y 3 respectivamente, a medida que el fruto alcanzó su grado de madurez máximo, el contenido de pectina fue disminuyendo.

Estos resultados concuerdan a lo encontrado por Sindoni *et al.* (2013), quienes encontraron que el rendimiento en la extracción de pectina en dos variedades de parchita (*Passiflora edulis* F.

Flavicarpa Degener) fue disminuyendo cuando la fruta pasó de un estado de madurez (verde-amarillo) a otro amarillo, así mismo, en las guayabas (*Psidium guajava* L.), en la medida en que el proceso de maduración va avanzando su contenido en pectinas de alto metoxilo disminuye (Paredes, Hernández & Cañizares, 2015), la disminución de pectina puede darse debido a que las frutas aumentan progresivamente la pérdida de firmeza a medida que incrementa el estado de maduración, lo que puede generar la degradación de las sustancias pépticas presentes en la laminilla medianera de la célula, componentes de la pared celular que actúa como agente cementante; esta degradación surge por el aumento de la enzima Pectinmetilesterasa (PME) y Poligalacturonasa (PG) (Aponte & Guadarrama, 2003).

En el estudio realizado por Nazaruddin, Norazelina, Norziah & Zainudin, (2011), encontraron rendimientos para pectina extraída de la cáscara de *Hylocereus polyrhizus* de 14.96% a 20.1%, cuyo valor mínimo se asemeja a lo encontrado en el presente estudio para el estado 3, sin embargo, los valores de rendimiento de las pectinas de este estado superan al porcentaje de la pasiflora parchita (12.07%). Por otro lado, Cabarcas, Guerra & Henao (2012), determinaron el rendimiento de la pectina de la cáscara de plátano (*Hartón Musa AABsimmonds*), a un tiempo de extracción constante, variando la temperatura y el pH, donde encontraron valores entre 7.53% y 23.06%, por lo que concluyeron que la cáscara de plátano tiene altos contenidos de pectina comparado con pectinas comerciales de cítricos con rendimientos cercanos al 10%, también se reportan contenidos de pectina para las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.) que oscilan entre 9.9% \pm 0.3 y 13% \pm 0.5 (Mendoza, Jiménez & Ramírez, 2017) y mango de azúcar (*Mangifera indica* L.) con 15.25 \pm 0.04% (Barreto, Púa, De Alba & Pión, 2017).

De acuerdo al análisis de las pruebas complementarias, se pudo observar que la presencia de pectina en las cáscaras de los frutos enfermos no se ve afectada por el hongo, ya que estos frutos presentaron un contenido máximo de 14.80% (base seca), siendo una fuente con potencial para el sector industrial; sin embargo, esta materia prima no es apta para ser empleada en la industria alimenticia, ya que el agente patógeno está presente en la cáscara y éste tiene la capacidad de producir micotoxinas, las cuales pueden afectar la salud del hombre y de los animales que consuman alimentos contaminados con esos hongos, por lo que se propone el aprovechamiento de esta fracción del fruto en la elaboración de bioplásticos, ya que la pectina es un polisacárido no

tóxico, biocompatible y biodegradable (Arellanes *et al.*, 2011). La cáscara de los frutos de pitahaya amarilla afectados por el hongo *Fusarium* se muestra como una materia prima potencial para la extracción de pectina, con el fin de aprovechar los frutos no utilizados, así como los residuos y desechos generados del mismo, dándoles valor agregado.

➤ Fenoles Totales

Los resultados de la cuantificación del contenido total de fenoles por el método espectrofotométrico de Folin Ciocalteu, muestra que las semillas de los frutos de pitahaya presentaron un contenido de 31.99 ± 0.81 y 34.87 ± 0.55 mg ácido gálico/g de muestra, en los estados de madurez 6 y 3 respectivamente. Daza, Murillo & Pardo (2015), evaluaron el contenido de fenoles totales de diferentes fracciones de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*), mangostino (*Garcinia mangostana L.*) y uchuva (*Physalis peruviana L.*), en la pitahaya encontraron mayor contenido de fenoles en las semillas con 20.3 ± 0.1 mg ácido gálico/ g, en comparación a la pulpa que fue de 7.8 ± 0.0 y cáscara de 10.2 ± 0.1 , no obstante, las semillas de mangostino, presentaron mayor cantidad de compuestos fenólicos con 40.4 ± 0.7 mg ácido gálico/ g y las de uchuva el menor con 13.0 ± 0.1 mg ácido gálico/ g. El contenido de compuestos fenólicos totales presente en las semillas de pitahaya amarilla es similar a lo reportado para manzana en variedad Winter Banana (32.40 ± 0.99 mg EAG/100 g semilla), Cervantes *et. al* (2010), pero superior a lo reportado para las semillas de uva isabella (*Vitis labrusca*) con 10.62 ± 0.17 mg ácido gálico/ g (Ruales, Rojas & Cardona, 2017).

Los compuestos fenólicos cuantificados en las semillas de diferentes frutas son de gran importancia debido a que constituyen un grupo de metabolitos secundarios que se consideran antioxidantes naturales con múltiples beneficios biológicos para el ser humano. Se ha encontrado en las semillas de pitahaya contenido de flavonoides, reportando valores de 8.2 ± 0.02 mgEQ/ g (base seca), Daza, Murillo & Pardo (2015). El alto contenido de compuestos fenólicos presentes en aceites, especialmente los flavonoides y los antocianos muestran una gran capacidad para captar radicales libres que originan el estrés oxidativo, atribuyéndoles simultáneamente un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y, además, poseen actividades antiinflamatorias, antialérgicas, antitrombóticas, antimicrobianas y

antineoplásicas (Ross & Kasum, 2002). Las semillas analizadas en el presente estudio mostraron alto contenido de compuestos fenólicos, lo que las hace fuente promisorias para aprovechamiento en la industria farmacéutica y de alimentos, por lo que se propone el aprovechamiento de esta fracción del fruto en la elaboración de bebidas nutraceuticas enriquecidas con compuestos fenólicos nanoencapsulados.

➤ Actividad Antioxidante

Las semillas de los frutos de pitahaya amarilla presentaron una actividad antioxidante de 1654.36 ± 4.1 y 1873.27 ± 0.76 (EC_{50} ppm), para los estados 3 y 6 respectivamente, presentando una mayor actividad antioxidante el estado pintón, la cual disminuye conforme avanza el grado de madurez. Según Ramírez, Cely & Ramírez (2013), cuando la concentración efectiva media EC_{50} es inferior, la capacidad antioxidante de los extractos para actuar como eliminadores de DPPH es más fuerte. Los resultados indican que las semillas de pitahaya amarilla en estado pintón tuvieron una concentración efectiva media EC_{50} menor que las semillas del fruto maduro, por lo que se puede decir que la capacidad antioxidante de los frutos pintones es más fuerte para actuar como eliminadores de DPPH (1.1 -difencil-2-picrilhidrazil) ya que se requiere menor concentración del extracto para inhibir el 50% del radical DPPH (1.1 -difencil-2-picrilhidrazil). La capacidad antioxidante de las semillas de pitahaya amarilla, es mayor a lo reportado para las semillas de cacao chiapaneco, las cuales poseen una concentración EC_{50} de 4.182 ppm (Ramírez, Cely & Ramírez 2013),

Las células producen compuestos con electrones libres conocidos como 'radicales libres'. Los compuestos que pueden atrapar los radicales libres, neutralizando su afectación sobre la célula se conocen como 'antioxidantes'; los cuales evitan la formación de un exceso de radicales libres y, por tanto, previene los efectos de éstos en la célula (Cuellar, Ariza, Anzola & Restrepo, 2013). Las semillas de pitahaya amarilla, demostraron tener un alto potencial antioxidante, lo que las convierte en fuentes promisorias en la industria de alimentos y farmacéutica, siendo una materia prima ideal para potencializar las propiedades funcionales de otros alimentos y productos procesados, ya que son de origen natural y no representan riesgos para la salud, debido a que algunos antioxidantes sintéticos pueden presentar efectos secundarios que no son deseables

➤ Fibra

El contenido de fibra presente en las semillas de los frutos estudiados, registró porcentajes semejantes entre estados, con valores de 1.21 ± 0.02 para el estado 6 y 1.26 ± 0.01 (g/100 g de muestra) para el estado 3. Ceballos & Montoya (2013), mediante análisis bromatológico determinaron el contenido de fibra cruda en la semilla de aguacate variedad Booth8, reportando un valor de 2.96% en su madurez fisiológica, frutas como la manzana reportan un contenido de fibra de 1.5%, naranja de 1.8 % y fresa 2.2 % Dreher (citado por Córdoba 2005).

Las semillas presentaron un contenido de fibra (1.26 g/100 g muestra), el cual puede ser aprovechado como materia prima para la industria alimenticia y farmacéutica, ya que el consumo suficiente de fibra dietaria puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, el cáncer de colon y la obesidad, además de ser fuente promisoría para la realización de alimentos funcionales; por tal motivo se plantea la elaboración de cápsulas de fibra extraída de las semillas de pitahaya para regulación intestinal, dado que las fibras obtenidas a partir de frutas resultan de mayor calidad, por que presentan una composición más equilibrada. Debido a esto nace el interés en el aprovechamiento de los subproductos de origen vegetal no comercializados para ser utilizados como fuente natural de fibra dietaria, convirtiéndose en una oportunidad para agregar valor a la producción primaria y a los subproductos y aportar a la solución de problemas ambientales (Cabrera & Cárdenas, 2006).

6. CONCLUSIONES

- El análisis microbiológico, permitió comprobar que los frutos estudiados en la presente investigación, se encontraban afectados por el microorganismo del genero *Fusarium*, especie *oxysporum*, de igual forma se observó que este patógeno está presente en cáscara y pulpa, por lo tanto, estas fracciones no pueden ser destinadas para uso alimenticio, debido a que el hongo *Fusarium oxysporum* no presentó patogenicidad en las semillas, estas pueden ser empleadas en la industria alimentaria y no alimentaria.
- Los resultados obtenidos de las pruebas físicas (peso, diámetro, longitud) y químicas preliminares (sólidos solubles, acidez, pH), tuvieron valores similares a lo encontrado en la literatura para frutos de pitahaya amarilla sanos, lo que permite concluir que el agente patógeno *Fusarium* no afecta dichos parámetros.
- Las semillas de los frutos analizados, tienen potencial para ser utilizados como materia prima de productos que requieran aceite, actividad antioxidante, fenoles totales y fibra en su formulación para Alimentos funcionales y Alimentos enriquecidos, ya que las semillas de pitahaya son reconocidas por los efectos benéficos para la salud.
- Una característica importante encontrada en las semillas de los frutos de pitahaya fue el contenido de fenoles totales, ya que superó en gran medida a la cantidad reportada para otras semillas de frutas como la uchuva y con valores similares al de la manzana, convirtiéndose en una excelente alternativa para la elaboración de productos nutracéuticos.
- Con base al contenido de pectina extraído de la cáscara de los frutos de pitahaya en los estados de maduración 3 y 6, se puede señalar que el estado 3 presentó mayor contenido de pectina, pero en general el contenido péptico de la cáscara de pitahaya es significativo,

siendo una alternativa para aprovechamiento agroindustrial, además del valor agregado que se puede generar con el uso de estos frutos no comercializados.

- Se puede concluir que las fracciones de cáscara y semilla de los frutos de pitahaya amarilla que son rechazadas durante el proceso de poscosecha debido a la presencia del hongo *Fusarium*, poseen propiedades que pueden aportar al desarrollo e innovación de la industria alimentaria y no alimentaria, siendo una materia prima que contiene propiedades químicas que permiten el desarrollo de productos de tipo agroindustrial.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar una cuidadosa selección y manejo de la fruta a comercializar para que se garantice una excelente calidad fitosanitaria.
- Adelantar campañas orientadas a transferir información sobre investigaciones realizadas a frutos de pitahaya amarilla afectados por la pudrición basal, de manera que los productores y comercializadores conozcan las propiedades que presentan estos frutos, con el fin disminuir las pérdidas poscosecha, aprovechando sus fracciones, especialmente las semillas.
- Se recomienda para futuras investigaciones, se analicen las propiedades fisicoquímicas a todos los estados de maduración de la pitahaya, con el fin de establecer si existen diferencias en cuanto a las diferentes propiedades fisicoquímicas.
- El uso potencial de la pulpa no se tuvo en cuenta en el presente trabajo de investigación debido a que esta fracción del fruto se encontraba con la presencia del agente patógeno, por lo que se considera importante para futuros trabajos, proponer ensayos con tratamientos térmicos con el fin de eliminar el efecto del hongo y potenciar su uso en la agroindustria.
- Dar continuidad a la investigación, con base a los resultados obtenidos, haciendo énfasis en los procesos de extracción de aceites e identificación de ácidos grasos, fenoles, fibra, antioxidantes y pectina, para explorar el comportamiento de biomateriales y conservación de los mismos con fines comerciales, direccionados hacia la agroindustria.

REFERENCIAS

- Acevedo, Y. (2013). *Taxonomía molecular de aislamientos de Fusarium obtenidos a partir de muestras clínicas*. (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Aguilar, K. (2016). *Caracterización del manejo poscosecha y cuantificación de las pérdidas en pitahaya (Selenicereus megalanthus) en el noroccidente de Pichincha*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
- Aponte, L., & Guadarrama, A. (2003). Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Rev.Fac. Agron, (Maracay)*, 29, 145-160
- Arbeláez, G. (2000). Algunos aspectos de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. *Agronomía Colombiana*, 17(1-3) 11-22
- Arellanes, A., Jaraba, M., Marmol, Z., Paez, G., Aiello-Mazzarri, C., & Rincón, M. (2011). Obtención y caracterización de pectina de la cáscara del cambur manzano (Musa AAB). *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 28,523-539
- Barreto, G., Púa, A., De Alba, D., & Pión, M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.). *Temas Agrarios*, 22 (1), 77 – 84
- Bernal de Ramírez, I. (1994). Análisis de alimentos. Academia Colombina de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Colección Julio Carrizosa Valenzuela*, (2)
- Cabarcas, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. (Tesis pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.

- Cabrera, J., & Cárdenas, M. (2006). Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana. *Revista cubana de salud pública*, 32 (4).
- Caldas, P. (2012). *Optimización, Escalamiento y Diseño de una Planta Piloto de Extracción Sólido Líquido*. (Tesis de pregrado). Universidad De Cuenca, Cuenca- Ecuador.
- Campos, E., Pinedo, J., Campos, G., & Hernández, A. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus*spp) de poblaciones naturales de Monte Escobedo, Zacatecas. *Chapingo Ser. Horti*, 17 (3), 173-182
- Cañamero, C., & Arévalo, M. (2014). *Pitahaya (Hylocereus undatus), deshidratada por osmósis en algarrobina* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Cañar, D., Caetano, C., & Macgayver, M. (2014). Caracterización físicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw, K. Schum. Ex Vaupel Moran) Cultivada en Colombia. *Agronomía*, 22 (1), 77-87.
- Castillo, R., Livera, M., & Márquez, G. (2005) Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*.) *Agrociencia*, 39 (2), 183-194.
- Castro, H. (2008). *Extracción de fenoles a partir de semillas de guayaba (Psidium guajava L.), empleando fluidos presurizados*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Departamento de Química. Sede Bogotá.
- Ceballos, A., & Montoya, S. (2013). *Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate*, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103 – 112.
- Cerdas, M., M, Montero., & Díaz, E. (2006). Manual de Manejo Pre y Poscosecha de aguacate (*Persea americana*). Recuperado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/aguacate-2006.pdf

- Cerón, A., Osorio, O., & Hurtado, A. (2012). Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de semillas de tres diferentes especies de frutas. *Acta Agronómica*, 61 (2), 126-132.
- Cervantes, V., Rocha, N., Gallegos, J., Rosales, M., Medina, L., & González, R. (2010). Actividad antioxidante de extractos de semilla de tres variedades de manzana (*Malus domestica* Borkh - Rosaceae-). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9 (6), 446 – 456.
- Chaparro, S., Lara, A., Sandoval, A., Sosa, S., Martínez, J., & Gil, J. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Ciencia en desarrollo*, 6(1), 67-76.
- Chaparro, S., Tavera, M., Martínez, M., & Gil, J. (2014). Propiedades funcionales de la harina y de los aislados proteicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 151-159.
- Chemah, T., Aminah, A., Noriham, A., & Wan-Aida, W. (2010). Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids, *International Food Research Journal* 17(4), 1003-1010.
- Conrado, C. (2008). *Análisis Proximal de Semillas no Comunes: Palma Chilena (Jubaea chilensis), Cilantro (Coriandrum sativum), Mora (Rubus glaucus), Rosa Mosqueta (Rosa aff. rubiginosa) y Caracterización de su Aceite*. (Tesis pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Corpoica. (2013). *Manual técnico: Tecnología para el manejo de pitaya amarilla Selenicereus megalanthus (K. Schum. ex Vaupel) Moran en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/265843377_Manual_tecnico_Tecnologia_para_el_manejo_de_pitaya_amarilla_Selenicereus_megalanthus_K_Schum_ex_Vaupel_Moran_en_Colombia

- Corrales, J. (2002). *Caracterización, poscosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas*. Recuperado de <http://ciestaam.edu.mx/caracterizacion-poscosecha-aprovechamiento-e-industrializacion-pitayas-pitahayas/>
- Creucí, M., Otálvaro, J., Muñoz, J., Morales, R., Suárez, C., Sandoval, M., Martínez, D., Cañar, R. Peña, É. Parra, E. Muñoz, R. Rojas, J. Jiménez, A. Benavides, y L.F. Pérez. (2011). Enfoque multidisciplinario para solución en el agro colombiano: El caso pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus*. *Asoc. Col. Cienc. Biol* 23, 52-64.
- Cuellar, F., Ariza, E., Anzola, C., & Restrepo, P. (2013). Capacidad antioxidante del arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) durante la maduración, *Rev. Colomb. Quim*, 42, (2).
- Daza, L., Murillo, E., & Pardo, D. (2015). Evaluación de la capacidad antioxidante de frutas cultivadas en el departamento del Tolima y sus residuos agroindustriales. *Revista Tumbaga*, 10 (2), 3-12.
- De Granada, E., De Amezquita, M., Bautista, G., & Valencia, H. (2001). *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer, *Acta biológica colombiana*, 6(1), 7-25.
- Delgado, A., Kondo, T., Imbachiz, K., Quintero, E., Manrique, M., & Medina, J. (2010). Biología y algunos datos morfológicos de la mosca del botón floral de la pitaya amarilla, *dasiops saltans* (townsend) (diptera: loncheidae) en el Valle del Cauca, Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 11 (2), 1-10.
- Delgado, J. (2010). *Análisis general de mercado de pitahaya amarilla (Selenicereus Megalanthus), con fines de su comercialización en la República Popular China (RPC)* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3 (1), 113-129.

- García, I., & Reyes, H. (2014). Determinación analítica y cuantitativa de antioxidantes presentes en el tomate chonto verdura típica del Quindío. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 8 (15), 71-45.
- Gonzales, E. (2013). *Caracterización de aislamientos de Fusarium spp. obtenidos de zonas productoras de uchuva (Physalis peruviana) en Cundinamarca y Boyacá*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Guerrero, M. (2014). *Estudio del manejo poscosecha de pitahaya amarilla (selenicereus megalanthus) procedentes del cantón pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Gutiérrez, A. (2004). *Caracterización de genes de poligalacturonasas de "fusarium oxysporum" f.sp. "radicis lycopersici" y su análisis en sistemas heterólogos*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Guzmán, O. A., Pérez, L., & Patiño, A. (2011). reconocimiento de nematodos fitoparásitos en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* HAW.). *bol.cient.mus.hist.nat*, 16 (2), 149-161.
- Hart, L. y Johnstone, H. 1991. Análisis Moderno de los Alimentos. Acriba, Zaragoza, p125-134.
- Hernández, C. (1984). Metabolismo de Calcio y Fósforo. *Revista Salud Uninorte*, 1(2), 115-121.
- ICA (2012). *El cultivo de pitahaya Selenicereus megalanthus Haw en temporada invernal*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/bff8ee09-c032-404b-8fcb-8c5f7d72d532/El-cultivo-de-Pitahaya-en-temporada-invernal.aspx>
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de la pitahaya Hylocereus megalanthus (K. Schum. Ex*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/87a2482e-a36a-4380-80ae-11072d0c717c/-nbsp%3BManejo-fitosanitario-del-cultivo-de-pitahaya.aspx>

- Jiménez, A. (2010). *Estudio de los cambios físicos y químicos de la gulupa (Passiflora edulis Sims fo. edulis) durante la maduración* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- La Nación. (2012, 11 de septiembre). Huila le apuesta a la pitahaya de calidad. *La Nación*. Recuperado de <http://www.lanacion.com.co/2012/09/11/huila-le-apuesta-a-la-pitahaya-de-calidad/>
- Lara, C., Nerio, L., & Oviedo, L. (2007). Evaluación fisicoquímica y bromatológica de la guayaba agria (*psidium araca*) en dos estados de maduración. *Temas agrarios*, 12 (1), 13 – 21.
- Leslie, F., & Summerell, B. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Recuperado de file:///C:/Users/Estudiantes_2018/Downloads/TheFusariumLaboratoryManual.pdf
- Medina, J., & Kondo, T. (2012). Listado taxonómico de organismos que afectan la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran (Cactaceae) en Colombia. *Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1), 41-46.
- Medina, P., & Mendoza, F. (2011). *Elaboración de mermelada y néctar a partir de la pulpa de pitahaya y determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH (1,1 Difetil-2- Picril Hidrazila)*. (Tesis de pregrado). Universidad De Guayaquil, Guayaquil- Ecuador.
- Mendoza, L., Jiménez, J., & Ramírez, M. (2017). Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao l.*). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20 (1), 131-138.
- Mosquera, H. A., Betancourt, B., Castellanos, J. C., & Perdomo, L. E. (2011). Vigilancia comercial de la cadena productiva de la Pitaya Amarilla. *Cuadernos de Administración*, 27(45), 75-93.
- Nazaruddin,R., Norazelina, S., Norziah, M., & Zainudin, M. (2011). Pectins from dragon fruit (*hylocereus polyrhizus*) PEEL. *Malays. Appl. Biol.*, 40 (1), 19-23.

- NTC 3554. (1996). Frutas frescas. Pitahaya amarilla. Norma Técnica Colombiana, 1, 1-7.
- Nucci, M., & Anaissie, E. (2007). Fusarium infections in immunocompromised patients. *Clinical Microbiology Reviews*, 20(4), 695-704.
- Nucci, M., & Anaissie, E. (2007). Fusarium Infections in Immunocompromised Patients. *Clin. Microbiol.* 20, 695-704.
- Osorio, M. (2017, 25 de octubre). La pitahaya colombiana se abre paso en Asia. *El Espectador*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/economia/la-pitahaya-colombiana-se-abre-paso-en-asia-articulo-719815>
- Osuna, T., Ibarra, M., Muy Rangel, M., Valdez, J., Villareal, M., & Hernández, S. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus haw.*) cosechados en tres estados de madurez. *Fitotec. Mex*, 34(1), 63 – 72.
- Pantoja, A., Hurtado, A., & Martinez, H. (2017). Caracterización de aceite de semillas de maracuyá (*Passiflora edulis Sims.*) procedentes de residuos agroindustriales obtenido con CO2 supercrítico. *Acta Agronómica*, 66(2), 178-185.
- Paredes, J., Hernández, R., & Cañizares, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascós de guayaba (*Psidium guajava L.*). *Idesia (Arica)*, 33 (3), 35-41.
- Ramírez, M., Cely, V., & Ramírez, S. (2013). Actividad antioxidante de clones de cacao (*Theobroma cacao L.*) finos y aromáticos cultivados en el estado de Chiapas, México. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 15(1), 27.
- Rodríguez, D., Patiño, M., Lasprilla, D., Fischer, G., & Galvis, J. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la

pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*, 58 (2), 2837- 2857.

Rojas, J. M., Peñuela, A. E., Gómez, C. R., Aristizabal, G. E., Chaparro, M. C., & López, J. A. (2004). Caracterización de los productos hortofrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/828>

Ross, J., & Kasum, C. (2002). dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annual review of nutrition*, 22 (1), 19-34.

Ruales, A., Rojas, A., & Cardona., C. (2017). Obtención de compuestos fenólicos a partir de residuos de uva isabella (*Vitis labrusca*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 72-79.

Saavedra, G. (2003). Ácidos grasos, importancia. Departamento de suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chile.

Salazar, C. G., Serna, L., & Gómez, E. (2015). Caracterización molecular de fusarium asociado a pudrición basal del fruto en pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Agron. Mesoam.* 27(2), 277-285. doi: 10.15517/am. v27i2.21269

Silva, P., Cuellar, C., Natiello, N., Hamner, T., Figueroa, C., & Garavito, S. (2015). *Ruta de cambio de pitalito 2030, Consciente y comprometido con el cambio climático*. Recuperado del sitio de internet de Alcaldía de Pitalito: <http://www.alcaldiapitalito.gov.co/publicaciones/Ruta-Cambio-Pitalito.pdf>

Sindoni M., Hidalgo, P., Castellano, G., Núñez, K., Burgos, M., Ramírez, R. (2013). Efecto de dos fases de maduración sobre la cantidad de pectina obtenida en dos variedades de parchita (*Passiflora edulis* f. flavicarpa degener) de diferente procedencia, *Revista Iberoamericana de Tecnología*, 14 (2), 93-100

Suarez, R. (2011). *Evaluación de métodos de propagación en pitahaya amarilla, Selenicereus megalanthus (Haw.) Britt & Rose y pitahaya roja Hylocereus polyrhizus (Haw.) Britt & Rose* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Torres, L., Serna, L., Ayala, A., Ortiz, J., & Bedoya C. (2012). Cambios en propiedades químicas y firmeza de pitahaya amarilla refrigerada por efecto de la aplicación de 1-MCP, *Vitae 19*(1), 141-143.

ANEXOS

Anexo a. Cultivo de pitahaya amarilla, Finca el Descanso.



Frutos de pitahaya amarilla desechados por la presencia del hongo.



Recolección de frutos de pitahaya amarilla.



Anexo c. Análisis microbiológico.

Siembra microbiológica.



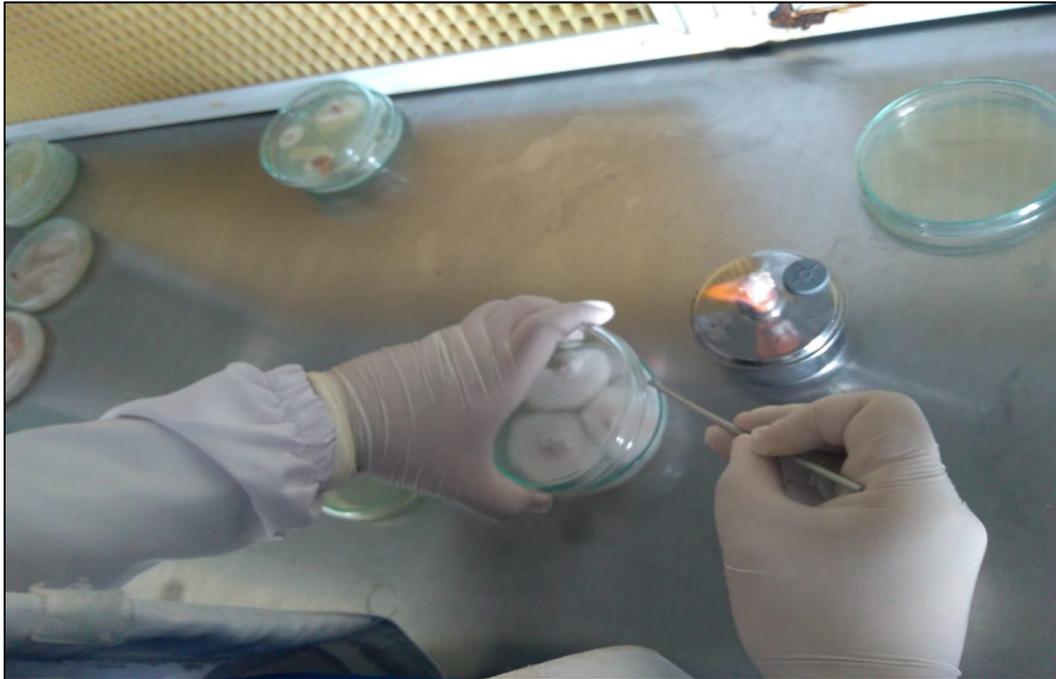
Resultados siembra microbiológica.



Material para el aislamiento del hongo *Fusarium*.



Aislamiento del hongo *Fusarium*.



Técnica de Tinción.



Microscopio Marca LEICA referencia DM500, empleado en la identificación del hongo.

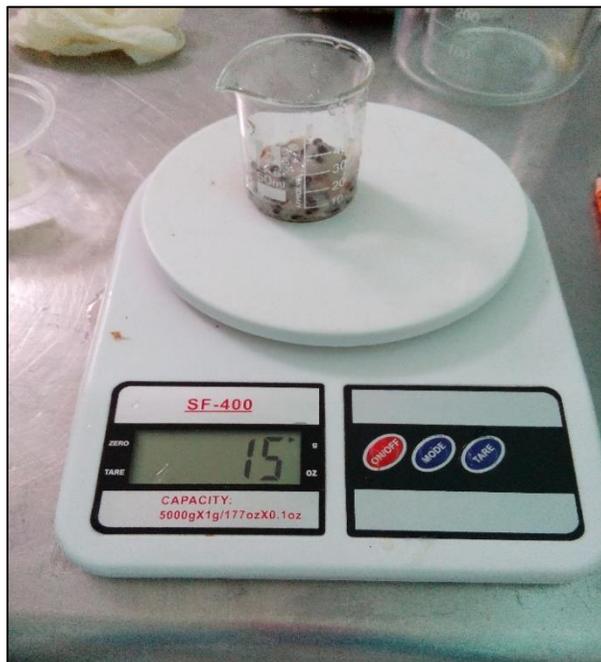


Anexo c. Pruebas físicas

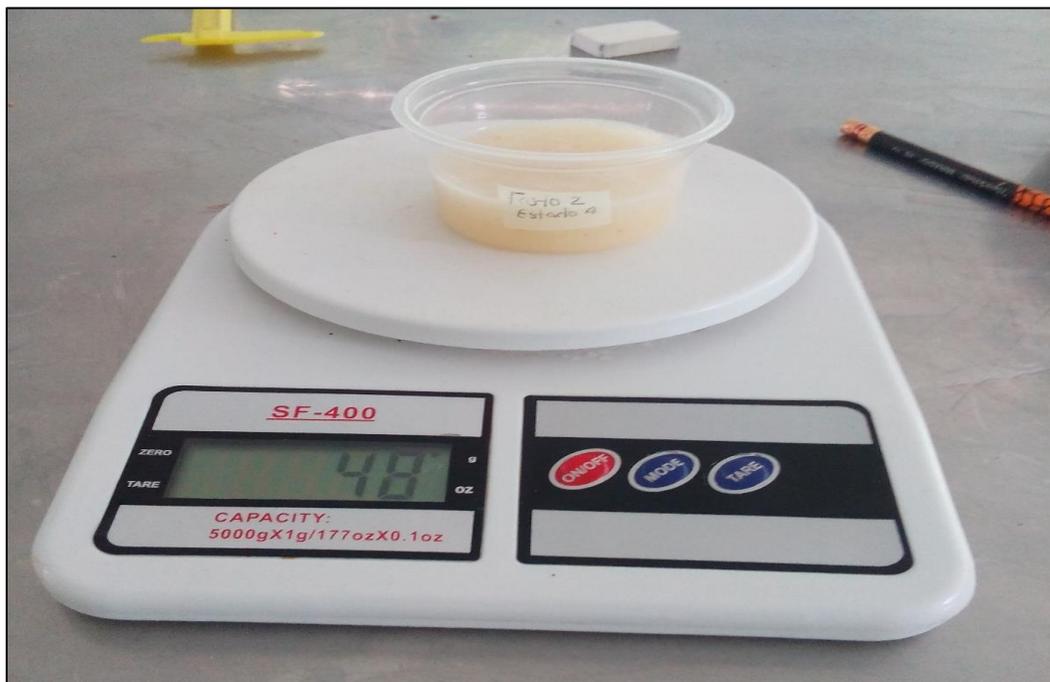
Medición de longitud del fruto



Pesaje de las semillas de los frutos.



Pesaje pulpa de los frutos.

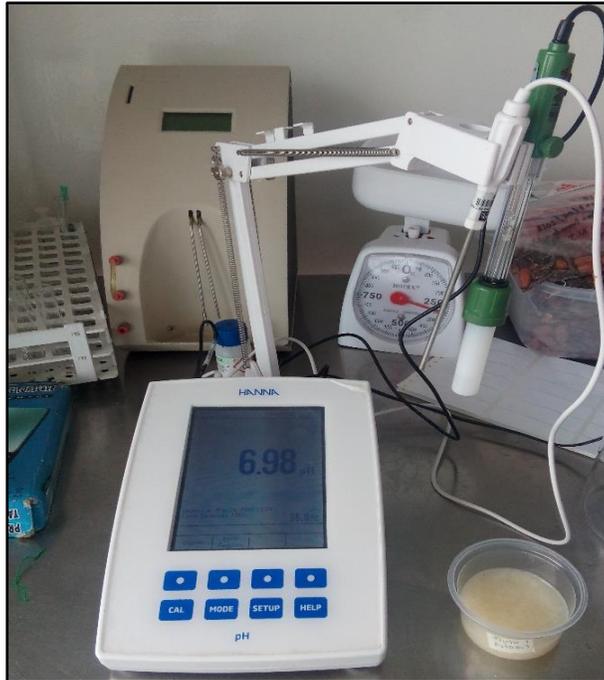


Pesaje de la cáscara de los frutos.



Anexo h. Pruebas químicas preliminares.

Prueba de pH.



Prueba de Acidez Titulable

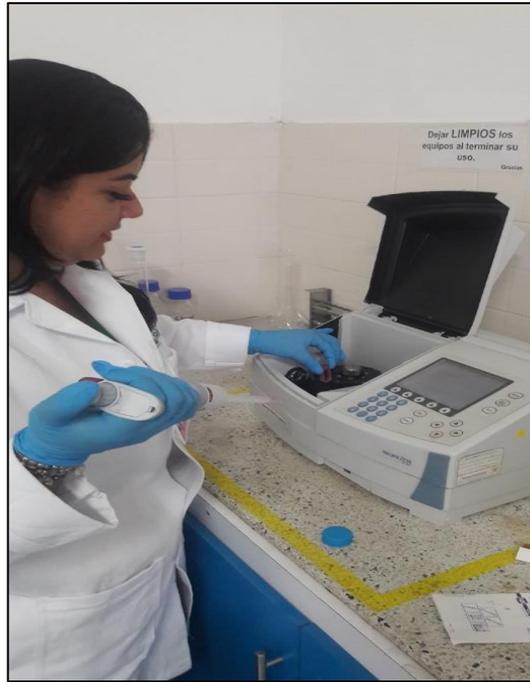


Prueba de Sólidos Solubles.



Anexo k. Pruebas químicas complementarias.

Prueba de Fenoles Totales y Actividad Antioxidante.



Extracción de aceite por método Soxhlet.



Extracción de pectina.



Anexo f. Procedimiento determinación de Pectina, con base en la norma NMX-F-347-S-1980 FRUTAS Y DERIVADOS.

- Pesar 50 g de muestra en un vaso de precipitados de 600 cm³ y añadir 400 cm³ de agua destilada, hervir durante una hora manteniendo constante el volumen en 400 cm³.
- Transferir el contenido a un matraz volumétrico de 500 cm³ y diluir hasta el aforo del mismo a 293 K (20°C).
- Filtrar a través de papel filtro Whatman número 4 (o papel equivalente) y tomar alícuotas de 100 cm³ de esta solución.
- Añadir 100 cm³ de agua y 10 cm³ de solución de hidróxido de sodio 1 N. Dejar reposar durante la noche.
- Añadir 50 cm³ de solución de ácido acético 1 N y dejar que la solución repose durante 5 minutos. Lentamente añadir 25 cm³ de solución de cloruro de calcio 1 N con agitación constante. Dejar en reposo durante una hora.
- Desecar durante una hora un papel filtro Whatman número 41 en una pesa filtro.
- Enfriar y determinar su masa.
- Calentar la solución hasta ebullición. Filtrar en caliente a través del papel filtro al que previamente se le ha determinado su masa.
- Lavar perfectamente el papel filtro con agua caliente hasta eliminar todas las trazas de cloruro. (Probar en las aguas de lavado hasta la ausencia del precipitado de cloruro de plata, el cual se obtiene por la adición de solución de nitrato de plata y solución de ácido nítrico).
- Transferir el papel filtro y residuo al pesa filtro y desecar a 378 K (105°C) durante tres horas. Enfriar y determinar su masa. Volver a desecar durante otra media hora y comprobar su masa para asegurarse de que no se han producido posteriores pérdidas de masa.

