

UNIVERSIDAD EAN



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN PROYECTOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

**ESTUDIO FITOQUÍMICO DE LULO (*Solanum quitoense*), BIOPROSPECCIÓN EN LA
BÚSQUEDA DEL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS DE SÍNTESIS**

AUTORES

CINTYA KATHERINE OJEDA RIAÑOS

RUBÉN GONZÁLEZ CALDERÓN

DIRECTOR

JEFFREY LEÓN PULIDO

BOGOTÁ, 10 DE NOVIEMBRE DE 2019

Tabla de contenido

Lista de figuras.....	6
Agradecimientos	10
Resumen.....	11
Abstract	12
1. Estructura del proyecto.....	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación	17
1.4 Estructura del documento	20
2. Revisión de la literatura.....	21
2.1 Generalidades	22
2.1.1 El lulo (<i>Solanum quitoense</i>) y sus principales características	22
2.1.2 Metabolitos Secundarios de las Plantas	24
2.1.2.3 Reconocimiento de Alcaloides.....	29
2.1.2.4 Beneficios de los Metabolitos Secundarios como compuestos bioactivos.	30
2.1.3 Metodología para la obtención de productos biofuncionales en la Industria Alimentaria	33
2.1.4 Morfología de las microcápsulas. Matrices para garantizar los principios activos	34
2.2 Bioprospección	35
2.2.1 Biocomercio sostenible en agroindustria alimentaria	35
2.2.2 Proyecciones en el mercado mundial para frutas cítricas	40
2.2.2.1 Importancia del Lulo en el Sector Agrícola Colombiano.....	43
2.2.2.2 Tamaño de mercado para el Sector Productivo de Lulo.....	47

2.2.3. Bioprospección en el área animal	48
2.2.4. Bioprospección en microbiología	49
2.2.5 Bioprospección ecológica	50
2.2.6 Bioprospección química.....	51
2.2.7 Bioprospección en Industria Alimentaria.....	52
2.3 Métodos de Síntesis para procesos de Agroindustria Alimentaria	54
2.3.1 Técnicas de encapsulación	54
2.3.2 Métodos Seleccionados.....	56
2.4 Desarrollo de productos por procesos de base tecnológica	59
2.4.1 Proceso de Liofilización	59
2.4.2 Mecanismos de gelificación con alginato	62
2.4.2.1 Gelificación externa.	63
2.4.2.2 Gelificación interna.....	63
3. Metodología	67
3.1 Descripción de la Metodología.....	67
3.2 Procedimientos Generales	68
3.2.1 Localización	68
3.2.2 Proceso de análisis físico químico del lulo	69
3.2.3 Obtención de Microencapsulados de Lulo	70
3.2.3.1 Tratamientos Microencapsulados de Lulo.	70
3.2.4 Marcha Fitoquímica.....	71
3.2.4.1 Reconocimiento de Taninos. Gelatina- Sal.	72
3.2.4.2 Reconocimiento de flavonoides.	72
3.2.4.3 Prueba de tricloruro férrico	72
3.2.4.4 Reconocimiento de Quinonas.....	72
3.2.4.5 Reconocimiento de Cumarinas.....	73
3.2.4.6 Reconocimiento de saponinas	73
3.2.4.7 Vainilla-Acido Ortofosfórico (V.A.O).	73

3.2.4.8 Reconocimiento de alcaloides	73
3.2.5 Diseño Experimental	74
3.2.6 Análisis estadístico	75
3.2.7 Análisis multivariado	75
3.2.8 Estudio de Mercado.....	76
4 Resultados	78
4.1 Parámetros Fisicoquímicos de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	79
4.1.1 Peso de Fruto Fresco	79
4.1.2 Temperatura	83
4.1.3 Potencial de Hidrogeno pH	84
4.1.4 Sólidos solubles totales	85
4.1.5 Acidez	86
4.2 Coeficiente de Correlación de las variables fisicoquímicas	87
4.3 Actividad Acuosa	89
4.4 Caracterización de Microencapsulados de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	91
4.5 Marcha Fitoquímica.....	93
4.6 Vitamina C y Carotenoides	99
4.7 Presentación de Microencapsulado de Lulo	101
4.7.1 Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas	106
4.8 Estudio de Pre-Factibilidad	108
4.8.1 Análisis de la Demanda.....	108
4.8.2 Consumo aparente.....	110
4.9 Delimitación y descripción del mercado	113
4.9.1 Comportamiento de la Demanda	114
4.9.2 Análisis de precios	115
4.9.3 Comercialización del producto	117

Conclusiones	120
Recomendaciones	123
Referencias.....	125
Anexos.....	134

Lista de figuras

Figura 1. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de plantas.....	25
Figura 2. Origen de algunos metabolitos secundarios (alcaloides, fenilpropanoides y terpenos) en el metabolismo primario.....	26
Figura 3. Estructura de los pigmentos carotenoides (Luteína y Zeaxantina).....	32
Figura 4. Morfología de Microcápsulas.	35
Figura 5. Área cosechada y producida de lulo 2013 - 2018 a nivel nacional.	44
Figura 6. Área cosechada de lulo por departamento.	45
Figura 7. Producción de lulo por departamento.	45
Figura 8. Rendimiento del lulo por departamento.	46
Figura 9. Técnicas de encapsulación en Alimentos.	55
Figura 10. Montaje de Liofilización de Cáscara de Lulo.....	61
Figura 11. Área de estudio Zona de Muestreo Sur del Huila.....	69
Figura 12. Diagrama de Flujo Estudio Fitoquímico de Lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam.).....	78
Figura 13. Distribución de los Pesos del Fruto Fresco de Lulo con respecto a las fincas	80
Figura 14. Distribución de los pesos del Fruto Fresco del Lulo con respecto a los frutos	81
Figura 15. Correlograma del análisis de variables fisicoquímicas de lulo de castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	88
Figura 16. Tratamiento Físico a la cáscara de lulo por Deshidratación Convencional y Liofilización	90
Figura 17. Recepción de materia prima Finca 1.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18. Proceso de Deshidratación Convencional para la cáscara.....	103
Figura 19. Proceso de Gelificación iónica de lulo con alginato de sodio	104
Figura 20. Formación de Microencapsulados de lulo	105
Figura 21. Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas del lulo de castilla con relación a las condiciones de su cultivo.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22. Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas del lulo de castilla con relación a metabolitos secundarios.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23. Principales frutas que consumen los colombianos.	109
Figura 24 Exportaciones de lulo en kg.....	114
Figura 25. Precio promedio anual del lulo en Colombia.	116

Figura 26. Precio de lulo en diferentes mercados a 31 de enero de 2014.....	117
Figura 27. Modelo de comercialización tipo “reloj de arena”	118

Lista de tablas

Tabla 1 Propiedades fitoquímicas de la fruta del lulo (<i>Solanum quitoense</i>)	31
Tabla 2 Investigaciones de entidades y temas presentados durante los talleres nacionales	38
Tabla 3 Tratamientos Microencapsulado de Lulo	71
Tabla 4 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	82
Tabla 5 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	83
Tabla 6 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	83
Tabla 7 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	84
Tabla 8 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	86
Tabla 9 Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	90
Tabla 10 Valores medios de la Caracterización fisicoquímica de Microencapsulados de lulo	92
Tabla 11 Valores medios de la Caracterización fisicoquímica de Microencapsulado de lulo	93
Tabla 12 Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios	94
Tabla 13 Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides en filtrado inicial	96
Tabla 14 Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides en CHCl3 Filtrado B	98
Tabla 15 Promedio de las variables para caracterización de Vitamina C y Carotenoides	101
Tabla 16 Destinos de exportación de lulo colombiano en términos de cantidad	111

Lista de abreviaciones

Subíndice	Término
Aw	Actividad Acuosa
Li	Liofilización
De	Deshidratación Convencional
PFF	Peso del Fruto fresco de lulo
PCF	Peso Cáscara de lulo fresca
PSF	Peso Semilla de lulo fresca
PPF	Peso pulpa de lulo fresca
PC	Porcentaje de cáscara de lulo fresco
PPu	Porcentaje pulpa de lulo
PS	Porcentaje de Semilla de Lulo
T_PFF	Temperatura Pulpa del Fruto Fresco de lulo [°C]
T_PCF	Temperatura Cascara del Fruto Fresco de lulo [°C]
pH_PFF	pH de Pulpa Fruto Fresco de lulo [pH]
pH_PCF	pH de la Cáscara del fruto fresco del lulo [pH]
SST	Solidos Solubles Totales
AC	Acidez en porcentaje de Ácido cítrico
Mic	Microencapsulados de lulo
d_Mic	Densidad Microencapsulados de lulo [g/cm ³]
pH_Mic	pH de Microencapsulados de lulo [pH]
Tep_Mic	Temperatura Microencapsulados de lulo [°C]
Flav	Flavonoides
Sh	Método de Reacción Química por Shinoda
Pe	Método de Reacción Química de Pew's

Tan	Taninos
GS	Método de Reacción Química Gelatina -Sal
TF	Método de Reacción Química por Tricloruro Férrico (FeCl_3)
Qui	Quinonas
RHA	Método de Reducción Hidroantraquinonas
De	Método de Reacción Química Donador de Electrones.
Cu	Cumarinas
HiF	Método de Reacción Química con Hidroxamato Férrico
Flu	Método de Reacción Química por Fluorescencia
Sa	Saponinas
RxnE	Método de Reacción Química por Espuma
VAO	Método de Reacción Química con Vainillina-Ácido Ortofosfórico
Al	Alcaloides
Dra	Reacción Química de Dragendorff
DraM	Reacción Química de Dragendorff Modificada
Erh	Reacción Química de Erhlich
Ma	Reacción Química de Mayer
Wag	Reacción Química de Wagner
Hag	Reacción Química de Hager
Bou	Reacción Química de Bouchardat
VitC	Vitamina C
Car	Carotenoides

Agradecimientos

Tecnoparque nodo Pitalito, Línea Biotecnología y Nanotecnología del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano SENA Regional Huila por la financiación del proyecto.

Grupo de Investigación Yamboró del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano SENA Regional Huila.

Grupo de Investigación de Productos Naturales Amazónicos Universidad de la Amazonía.

Productores de Lulo del Municipio de Pitalito, Isnos, Palestina, San Agustín en el Departamento del Huila.

ARN Agencia de Reintegración y Normalización, seccional Huila.

Director Departamento de Procesos, Jeffrey León Pulido, Profesor Asociación-Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

Resumen

En la búsqueda de opciones para la transformación industrial y el aprovechamiento de las potencialidades del lulo (*Solanum quitoense*), un fruto tropical que para el departamento del Huila representa el cuarto lugar en el sector frutícola con el 10,2% de participación del total del área sembrada y el 8,3% de la producción nacional; reconocido además como fuente importante de vitaminas y minerales, que aporta a la salud carotenoides precursores de vitamina A en concentraciones que varían, según estudios realizados, en rangos de $28,1 \pm 0,3$ $\mu\text{g/g}$ en el fruto fresco entero y $7,2 \pm 0,3$ $\mu\text{g/g}$ en la pulpa fresca; carotenoides mayoritarios como el β -caroteno, la luteína y zeaxantina con porcentajes de 58,4%, 32,2% y 3,2% respectivamente del total de carotenoides. Los anteriores aspectos, entre otros son las razones por la que se consideró necesario y pertinente potencializar su transformación y dar valor agregado al cultivo de lulo, a través de la reincorporación de sus residuos agrícolas (cáscara, semilla) en la bioprospección de nuevos productos. El proyecto comprendió entonces, el procesamiento de la cáscara de lulo mediante técnicas de deshidratación convencional y liofilización; que de acuerdo al procesamiento estadístico SAS University Edition con un rango estudentizado de Tukey (HSD), se obtienen diferencias estadísticas en parámetros físicos como la actividad acuosa (A_w) $< 0,005$, concluyendo así, que el proceso de liofilización con una media de $0,3482 \pm 0,0185$ es más eficiente. La microencapsulación preparada al 30% con alginato de sodio ($\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$) de cuatro concentraciones diferentes m/v; fue la que mayor estabilidad presentó con la fuente externa de ion calcio (CaCl_2) al 5% m/v para alcanzar la cadena polimérica que generó el reordenamiento estructural del gel. Olor y sabor agridulce intensivo en la cáscara, alcanzó pH entre 3,30-3,35; humedad entre 91,6-91,5%; además de robustecer los resultados un perfil fitoquímico cualitativo

para determinar flavonoides, taninos, cumarinas, saponinas, quinonas; y cuantitativos para determinar carotenoides y vitamina C usando espectrofotometría UV-VIS. Los metabolitos secundarios en los 9 extractos etanólicos preparados con mayor predominancia fueron el jugo y la cáscara frente al microencapsulado de emulsión con 30% de alginato; resultados que permiten concluir que tanto el jugo del lulo, ampliamente apetecido; contiene compuestos bioactivos funcionales, también sus residuos (cáscara) aportan igual o mayores concentraciones de vitamina C ($0,2702214 \pm 0,01729 \text{ mg/g}$) y carotenoides ($0,449475 \pm 0,03195 \text{ mg/g}$); antioxidantes, fuente potencial en agroindustria.

Palabras claves: Encapsulación, Liofilización, Secado, Lulo, Bioprospección.

Abstract

In the search for options for industrial transformation and the exploitation of the potential of lulo (*Solanum quitoense*), a tropical fruit that for the department of Huila represents the fourth place in the fruit sector with a 10.2% share of the total planted area and 8.3% of national production; It is also recognized as an important source of vitamins and minerals, which contributes to vitamin A precursor carotenoids in concentrations that vary, according to studies, in ranges of $28.1 \pm 0.3 \mu\text{g} / \text{g}$ in whole fresh fruit and $7, 2 \pm 0.3 \mu\text{g} / \text{g}$ in fresh pulp; Major carotenoids such as β -carotene, lutein and zeaxanthin with percentages of 58.4%, 32.2% and 3.2% respectively of the total carotenoids. The previous aspects, among others, are the reasons why it was considered necessary and pertinent to potentiate its transformation and give added value to the cultivation of lulo, through the reincorporation of its agricultural residues (shell, seed) in the bioprospecting of new products. The project then included the processing of the lulo husk by conventional

dehydration and lyophilization techniques; that according to the SAS University Edition statistical processing with a Tukey study range (HSD), statistical differences are obtained in physical parameters such as water activity (A_w) <0.005 , thus concluding that the lyophilization process with an average of $0,3482 \pm 0.0185$ is more efficient. The 30% microencapsulation prepared with sodium alginate ($C_6H_7O_6Na$) of four different concentrations m / v; it was the one that showed the greatest stability with the external source of calcium ion ($CaCl_2$) at 5% m / v to reach the polymer chain that generated the structural rearrangement of the gel. Sweet and sour smell and taste intensive in the shell, reached pH between 3.30-3.35; humidity between 91.6-91.5%; in addition to strengthening the results a qualitative phytochemical profile to determine flavonoids, tannins, coumarins, saponins, quinones; and quantitative to determine carotenoids and vitamin C using UV-VIS spectrophotometry. The secondary metabolites in the 9 ethanol extracts prepared with greater predominance were the juice and the shell against the microencapsulated emulsion with 30% alginate; results that allow us to conclude that both lulo juice, widely desired; It contains functional bioactive compounds, also its residues (husk) provide equal or higher concentrations of vitamin C (0.2702214 ± 0.01729 mg / g) and carotenoids (0.449475 ± 0.03195 mg / g); antioxidants, potential source in agribusiness.

Keywords: Encapsulation, Lyophilization, Drying, Lulo, Bioprospecting

1. Estructura del proyecto

1.1 Introducción

El Huila es el departamento con más cultivo de lulo a nivel nacional (SIPSA, Minagricultura, DANE, 2014), fruto proveedor de ingresos para las empresas cultivadoras como para las procesadoras de pulpa y gran generador de mano de obra campesina. Sin embargo, estas cifras podrían ser más alentadoras si se pudiesen conocer todas las propiedades de esta fruta en cuanto a su pulpa, cáscara y semilla; de tal manera que se puedan determinar otros usos alternativos y formas de comercialización diferentes a las tradicionales que agreguen valor la cadena productiva. Es así como resulta de suma importancia realizar caracterización fisicoquímica de un microencapsulado fuente del fruto agrícola de lulo (*Solanum quitoense*) que permita determinar las bondades del producto y sus futuros usos en los diferentes sectores de la industria. Según Villacrez (2013), *Spray Drying* es entre diversas técnicas de industria alimentaria, la de mayor uso por emplear condiciones apropiadas en su proceso como matriz de encapsulación, temperatura de secado, peso molecular de las moléculas a encapsular, etc., con la cual se logra un secado eficiente y la retención del principio activo, además de los bajos tiempos que emplea y el efecto refrigerador debido a la evaporación que posibilita trabajar eficazmente con productos sensibles a la temperatura como son los compuestos volátiles.

El presente estudio describe una metodología cualitativa para la bioprospección del lulo, que evalúa diversas estrategias para potencializar su transformación y dar valor agregado a través de procesos de base tecnológica para la reincorporación de residuos agroindustriales (cáscara y semilla); una propuesta en el desarrollo de nuevos productos de síntesis, que a través de la

observación de propiedades fisicoquímicas permita evaluar la presencia de carotenoides mayoritarios como el β -caroteno, luteína y zeaxantina.

Como resultado de los estudios experimentales en el Departamento del Huila, fueron observadas variaciones en las propiedades fisicoquímicas de las muestras analizadas, principalmente el peso alcanzado en los frutos frescos, variando entre 93,70g y 220,90g, el porcentaje de humedad alcanzó un 90,4978% en el tratamiento de deshidratación convencional y la acidez en pulpa 2,9025% ácido cítrico. De igual manera las propiedades fisicoquímicas en cáscara y pulpa reportaron los siguientes resultados: pH (3,9456, - 2,8558), sólidos solubles (15,14556°Brix - 9,19277°Brix) encontrando así que los frutos tienen un comportamiento que estadísticamente no representa diferencias significativas en sus variables fisicoquímicas ($Pr > 0,05$). Sin embargo, las diferencias estadísticas significativas se atribuyen entre fincas; en Palestina la finca 2 y 1 y en Isnos la finca 3, reportaron la menor proporción en peso de fruto fresco; y las fincas 5 y 4 en Pitalito y 6 en San Agustín, el mayor contenido con respecto a la media $PFF = 139,0797g$ ($Pr < 0,0001$). En consecuencia, se puede deducir que las condiciones geofísicas de cada zona de muestreo, los factores ambientales como radiación solar, temperatura y humedad relativa, condicionan el crecimiento y desarrollo de los frutos y afectan su proceso fotosintético directamente relacionado con el proceso metabólico, por tanto, su calidad y tamaño. Finalmente, en el proceso de transformación agroindustrial del lulo, se selecciona uno de los polímeros más empleados en la microencapsulación: el Alginato de Sodio; este producto tiene la capacidad de formar matrices altamente versátiles, biocompatibles y no tóxica para la protección de componentes activos, células o microorganismos sensibles al calor, pH, oxígeno y luz, entre otros factores, a los que son

expuestos los alimentos durante el procesamiento y almacenaje, demostrando que el producto desarrollado alcanza la estabilidad deseada en la emulsión preparada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar estudio fitoquímico del lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam.) identificando componentes bioactivos con potencial de uso bioprospectivo en la obtención de microencapsulados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las propiedades bioactivas del lulo (*Solanum quitoense*) maduro identificando su uso potencial.
- Analizar la composición de microencapsulados que preserven las características biofuncionales del lulo en la apuesta sostenible de su cadena productiva
- Identificar mercados potenciales para la comercialización del lulo como estrategia direccionada al fortalecimiento de la economía regional.
- Realizar transferencia tecnológica con productores de lulo asociados al proyecto que permita dar a conocer el estudio ejecutado en este sector económico como una alternativa sostenible para dar valor agregado en su actividad productiva.
- Evaluar la funcionalidad de la propuesta bioprospectiva en industria alimentaria a través de la transformación del fruto incluyendo sus residuos agrícolas en productos con fines comerciales direccionados al desarrollo sustentable.

1.3 Justificación

Una de las principales causas del problema de transformación agroindustrial es el desconocimiento por parte de la población, productores, empresarios y entes políticos, sobre apropiación de metodologías de base tecnológica que permiten desarrollar productos naturales por ejemplo para fortificación de alimentos, aprovechando los componentes activos de diversos frutos cítricos como el lulo, y sus residuos agrícolas que pueden convertirse en un potencial direccionado a industria alimentaria. En el ámbito regional, el departamento del Huila en su Plan de Desarrollo Departamental “*El camino es la Educación*” 2016-2019”, prioriza las actividades de Ciencia, Tecnología e innovación que coadyuvan en el desarrollo económico de la región, el cual gira en torno a actividades productivas con diferentes grados de incorporación tecnológica. Entre ellas, el 9 % pertenece a la industria del software y las tecnologías de la información, sector reconocido por su alto contenido tecnológico catalogado dentro del esquema de la “*economía naranja*”. El sector energético representa el 5 % de las actividades y tiene un contenido tecnológico medio, mientras que el 86 % restante de la actividad productiva tiene un bajo contenido tecnológico y se asocia a la agroindustria, la manufactura y al sector agropecuario y agroecológico, incluyendo el agroturismo (Alcaldía de Pitalito, 2015).

El lulo, en tanto producto tradicional cultivado por campesinos de la región, denota un estancamiento de alternativas sostenibles para su desarrollo productivo, razón por la cual se hace pertinente establecer bioprospección en el sector alimentario como una propuesta rentable para reintegrar a la cadena productiva sus residuos y proyectar alternativas de comercialización. Así, esta premisa se abordó a través de una investigación exploratoria, teniendo como referencia la

producción de frutas, que para el cultivo de cítricos de acuerdo con el DANE (2015) representa el 21,7 % de la participación colombiana.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende fortalecer la cadena productiva del lulo a través de la aplicación de tecnologías apropiadas para mejorar la producción, así como aprovechar sus residuos agrícolas, ampliar la cobertura en las siembras y aumentar considerablemente las cosechas, lo que simultáneamente generaría un visible mejoramiento en la agroindustria con enfoque de desarrollo sostenible.

La agroindustria en Colombia se ha desarrollado exitosamente en subsectores como la producción de azúcar, productos lácteos, palma africana y los renglones avícola y porcino; mas no así, en el área hortofrutícola debido al incremento de los costos de producción originado en los cuidados especiales de post-cosecha y transporte de los productos frescos, convirtiéndolos en materias primas poco rentables. Sin embargo, si en este sector económico se apropiaran procesos de base tecnológica como la microencapsulación de compuestos activos, tal como se propone en este estudio bajo la metodología de Villacrez (2013) podría convertirse en una fuente importante de productos procesados con valor agregado y así incursionar en otros sectores comerciales y mercados internacionales.

Al respecto, Lupo, González & Maestro (2012), plantean que entre las nuevas tendencias tecnológicas se han enfocado en la producción de alimentos reestructurados y funcionales a partir de compuestos activos como antioxidantes, vitaminas, aminoácidos, minerales e incluso de pequeñas moléculas como células, enzimas y microorganismos probióticos beneficiosos para la salud, y, por tanto, de su conservación en los alimentos durante el procesamiento y almacenaje.

Razones por las cuales en este estudio se buscó determinar la utilidad de unas tecnologías ampliamente usadas en industria alimentaria; el secado por liofilización y la microencapsulación; procesos efectivos en la liberación de principios activos que permiten crear o mantener resultados deseados, dada la naturaleza dinámica y los factores que condicionan su desarrollo. En ese sentido, la microencapsulación del lulo es ampliamente conveniente puesto que, en investigación aplicada, se destaca la relevancia social por las soluciones que aportan a la mitigación de problemas que aquejan sectores del sur del país como Pitalito, Palestina, San Agustín e Isnos, abriendo varias ventanas para que se continúe explorando sobre el lulo desde otras perspectivas y se avance lo suficiente en el conocimiento de procesos de transformación de la fruta.

El estudio científico desarrollado servirá en un futuro para fortalecer procesos investigativos como podría ser diseños experimentales para condiciones de cultivo de lulo orgánico; que inicialmente para este estudio se inicia con lo mencionado por Lupo, B., et al (2012), la microencapsulación como la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto, la liberación gradual del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido o gaseoso a una forma sólida llamada microcápsula.

La viabilidad del presente proyecto I+D+i con el cual obtener, identificar y cuantificar compuestos bioactivos como metabolitos secundarios mediante marcha fitoquímica, tanto para el lulo como para los procesados, se garantizará por la articulación entre la Universidad EAN con la estrategia de Tecnoparque Nodo Pitalito; programa del SENA, reconocido como promotor en el desarrollo de proyectos de base tecnológica para apalancar los sectores productivos del sur del

país, además, poniendo a disposición el uso de la infraestructura tecnológica con personal idóneo comprometido en el desarrollo del mismo. Los maestrantes de la U EAN corresponden al área de química y economía para los experimentos de la investigación que aseguren el cumplimiento de objetivos en un tiempo estimado de nueve meses, acorde con los lineamientos de la Universidad EAN, trabajo que se proyecta como aporte a la producción científica de los Grupos de Investigación de las instituciones articuladas y cofinanciadas por el Departamento del Huila, además de los beneficios que traerá tanto a productores, empresas y comunidad en general conocer del aprovechamiento sostenible del lulo.

Preguntas de Investigación

- ¿Se garantiza que los compuestos fitoquímicos encontrados en la pulpa de la fruta del lulo principalmente carotenoides, precursores de vitamina A, se encuentren en los residuos agroindustriales tales como la cáscara o las semillas de lulo?
- ¿Qué beneficios trae al sector agroindustrial de la ciudad de Pitalito, desarrollar metodologías para obtener un microencapsulado con compuestos biofuncionales a partir de residuos agroindustriales que cumpla con condiciones de calidad en el sector alimentario?

1.4 Estructura del documento

La estructura de este documento comprende una revisión documental desde la cual se consolidan las propuestas a ejecutar. Se divide en cuatro secciones; un primer capítulo expone la introducción y la estructuración del problema. En el capítulo 2 se presenta el marco referencial de la temática a tratar, donde se contextualizan varias metodologías aplicables al tema de

bioprospección en industria alimentaria, resaltando las similitudes y puntos clave a ser considerados, llevando a la consolidación de la información y marco del contexto industrial de influencia. En el capítulo 3 se desarrolla la metodología, que abarca la caracterización fisicoquímica del lulo de castilla (*Solamun quitoense* Lam.), consulta a expertos, y la construcción de la propuesta final de microencapsulación de metabolitos secundarios, anexando los resultados de la marcha fitoquímica para establecer presencia de compuestos bioactivos cuantificados mediante espectrofotometría UV-Vis para carotenoides y vitamina C. De igual manera se identifican mercados potenciales para este fruto cítrico como estrategia en el fortalecimiento de la economía y la productividad de Pitalito, San Agustín, Palestina e Isnos del Departamento del Huila Colombia, de tal manera que la propuesta para apropiar el desarrollo tecnológico sea una alternativa de sostenibilidad al sector productivo del lulo; finalmente el capítulo 4 presenta los resultados alcanzados en el desarrollo del proyecto de investigación junto a recomendaciones de futuros proyectos de investigación.

2. Revisión de la literatura

Teniendo en cuenta las políticas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo de nuestro país y las definidas a nivel departamental; el Huila prevé convertirse en un epicentro de desarrollo agroindustrial, económico y social a partir de la solución de desafíos en el marco del modelo de la economía circular, del conocimiento, gestando procesos de Innovación y competitividad para fortalecer el Desarrollo Tecnológico. El plan frutícola nacional pretende en este departamento explorar alternativas que mejoren la producción y comercialización para uno de los principales productos agrícolas; el lulo, siendo una estrategia competitiva para la industria nacional utilizar

componentes activos orgánicos encontrados en esta fruta. Además, este eslabón de la cadena productiva genera subproductos como la cáscara y las semillas que no son de mucho interés como alimento, pero que pudieran ser analizados en conjunto, puesto que su composición fitoquímica representa beneficios para etnobotánica, farmacéutica como industria.

2.1 Generalidades

2.1.1 El lulo (*Solanum quitoense*) y sus principales características

El lulo es un arbusto originario de la cordillera de los Andes, ampliamente cultivado desde Chile hasta México, siendo los principales productores Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras. En Colombia, de acuerdo con SIPSA, Minagricultura y DANE (2014) se cultivan las variedades *S. quitoense quitoense* (sin espinas), *S. quitoense septentrional* (con espinas) y el híbrido «La Selva», obtenido a partir del cruzamiento del lulo de perro –*Solanum hirtum*– con el lulo de Castilla –*Solanum quitoense*–. El área total establecida en cultivos de lulo en el país, reportada por la ENA¹ para el año 2013, fue de 8.372 hectáreas, de las cuales 3.889 están en etapa productiva con una producción de 34.635 toneladas de fruta. El mayor productor fue el departamento del Huila con 18.357 toneladas, seguido por los departamentos de Boyacá, Magdalena y Santander; datos reportados por el DANE (2014).

Una alternativa para mejorar las condiciones de desarrollo sostenible en relación a los sectores productivos agrícolas, es aprovechar el potencial que las plantas tienen para biosintetizar una gran cantidad de sustancias químicas conocidas como metabolitos secundarios o también llamados

¹ Encuesta Nacional Agropecuaria-DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística).

productos naturales, compuestos de estructuras relativamente complejas y de distribución restringida. Algunos de ellos, como lo refiere Soto (2011), son comunes en la defensa contra insectos, bacterias, hongos, como los alcaloides, aminoácidos no proteicos, esteroides, flavonoides, fenoles, quinonas, taninos, cumarinas y terpenoides; demostrando que existe una gran variación en cuanto a la concentración de estos metabolitos en la planta. No hay un patrón de máxima producción ni órganos especiales de almacenaje de metabolitos secundarios, sin embargo, las mayores concentraciones de estos se encuentren en hojas, flores y semillas.

Este trabajo pretende identificar las fuentes de aprovechamiento del lulo y sus propiedades vitamínicas y minerales, que de acuerdo con estudios adelantados por Cerón, Higuita & Cardona (2011), contribuyen directamente en la salud de los seres humanos aportando carotenoides con contenidos entre $33,3 \pm 0,6$ $\mu\text{g/g}$ en el fruto fresco entero y $7,2 \pm 0,3$ $\mu\text{g/g}$ en la pulpa fresca; estableciendo que estos antioxidantes se distribuyen mayoritariamente como β -caroteno, seguido por luteína y zeaxantina en porcentajes de 58,4%, 32,2% y 3,2% respectivamente del total de carotenoides; identificando así sus propiedades químicas naturales de gran interés que pueden llegar a impactar directamente este sector económico para convertirse en áreas cultivadas de extensa siembra buscando mejores formas de aprovechamiento de esta fruta, y directamente incrementar el empleo de la población interesada, mejorar la calidad de vida de los productores, aspectos sociales que mejorarían en los campesinos dedicados a esta actividad.

De acuerdo con Ochoa, L., et (2016), durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de lulo se presentan cambios físicos y químicos que conllevan la maduración. El conocimiento de estos cambios se convierte en una herramienta importante para productores, comercializadores y

procesadores, quienes a partir de esta información pueden programar y planificar las labores de cosecha, manejo de poscosecha, selección de las operaciones unitarias de procesamiento y diseño de empaques. Estas características, se convierten en los atributos para explorar la funcionalidad de una fruta con altos contenidos nutricionales en la industria alimentaria, que, con mayor interés, busca reemplazar los compuestos de síntesis química, por aquellos que se obtengan de compuestos orgánicos; más la necesidad de aprovechar todos los componentes de la fruta como su cáscara que comúnmente en el departamento del Huila y en general en los lugares donde se da su producción es desechada como un residuo agrícola.

2.1.2 Metabolitos Secundarios de las Plantas

El conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo constituye el metabolismo. De acuerdo con Ávalos & Pérez (2009), la mayor parte del carbono, del nitrógeno y de la energía; termina en moléculas comunes a todas las células, necesarias para su funcionamiento y el de los organismos. Se trata de aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos, presentes en todas las plantas desempeñando las mismas funciones y se denominan metabolitos primarios (ver figura 1), pero a diferencia de otros organismos, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y de la energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, denominados metabolitos secundarios (también denominados productos secundarios, productos naturales) (Ver figura 2).

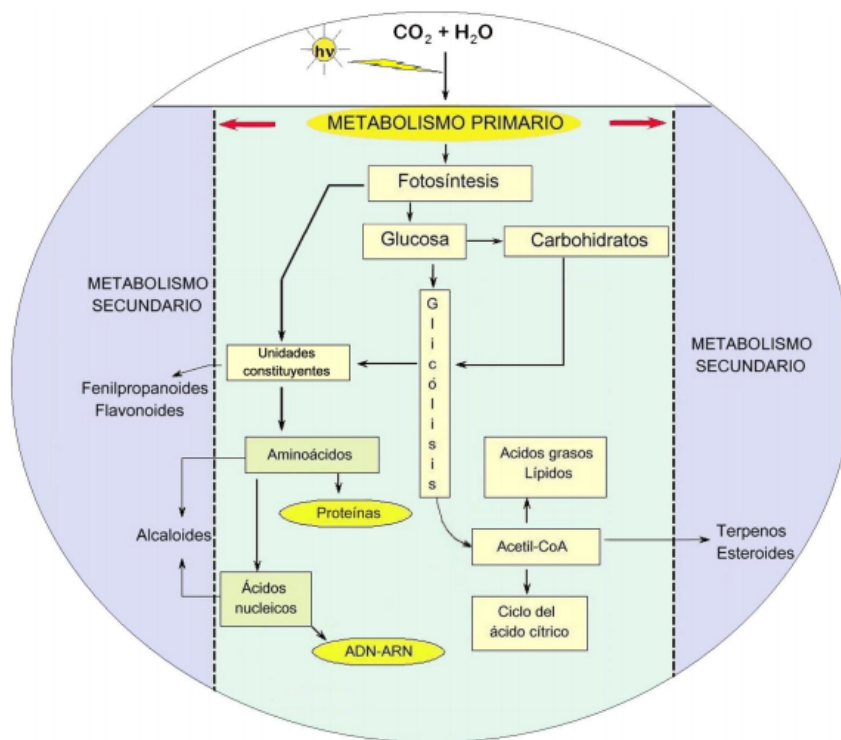


Figura 1. Elementos básicos del metabolismo primario en relación con el metabolismo secundario de plantas.
 Fuente: Metabolismo secundario de plantas Avalos & Pérez (2009)

Las plantas han desarrollado diversas estrategias de defensa contra condiciones de estrés biótico y abiótico ocasionado por insectos o microorganismos patógenos. Para ello, sintetizan enzimas que degradan la pared celular de los microorganismos o que tienen la capacidad de inactivar tóxicos de origen microbiano. Como lo refiere Croteau et al., (2000, citado por Sepúlveda, Porta & Rocha. 2003), estas respuestas de defensa a su vez se combinan con el desarrollo de estructuras contra sus depredadores, tales como las espinas, las espigas, los tricomas y los pelos glandulares. Otro mecanismo utilizado por las plantas es la producción de metabolitos secundarios (MS) con actividad antimicrobiana, en contra de herbívoros o con actividad antioxidante.

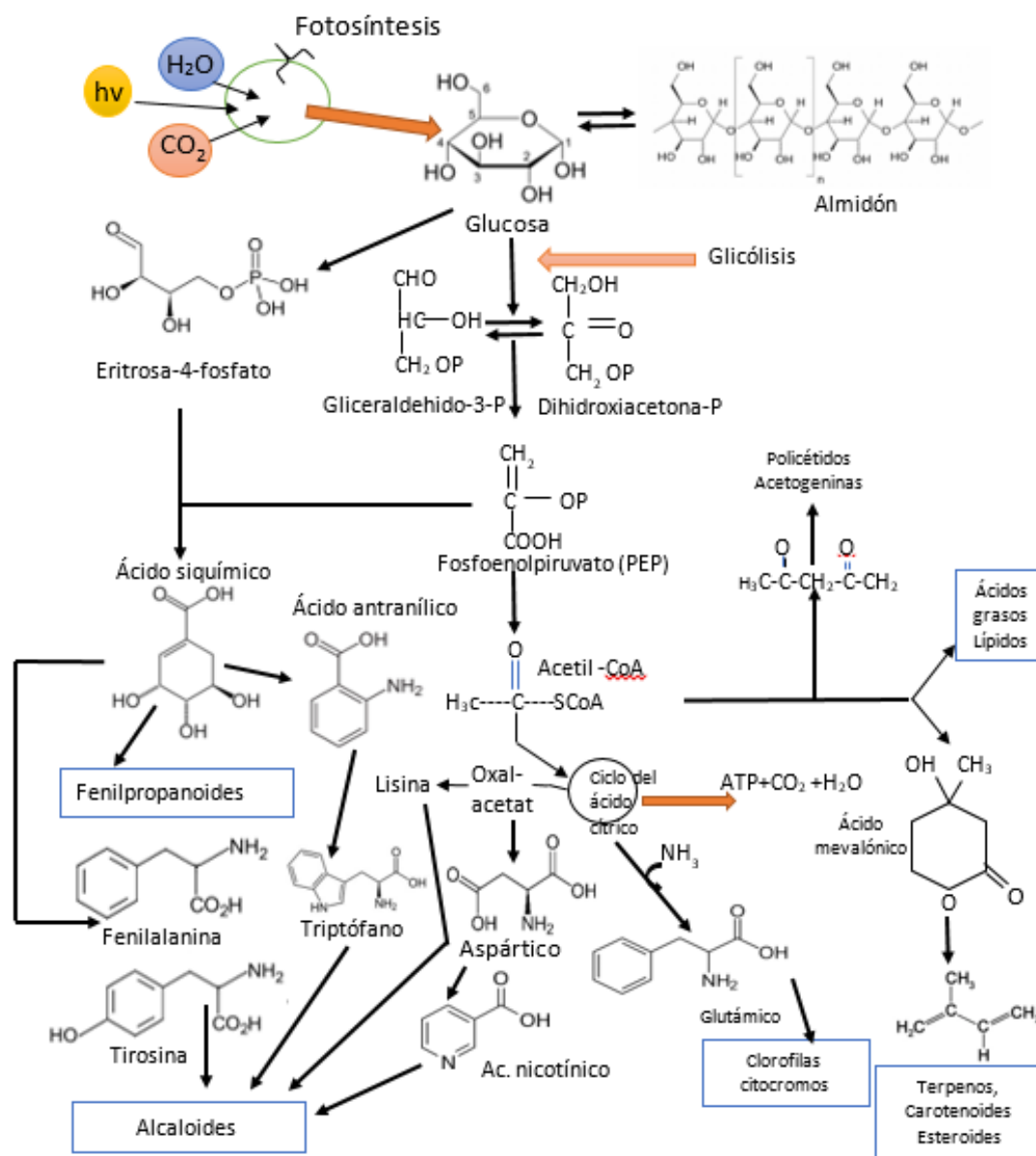


Figura 2. Origen de algunos metabolitos secundarios (alcaloides, fenilpropanoides y terpenos) en el metabolismo primario.

Fuente Metabolismo secundario de plantas Avalos & Pérez (2009)

2.1.2.1 Características generales de los Metabolitos Secundarios MS.

En la actualidad se conocen aproximadamente 20,000 estructuras de MS, de acuerdo con Sepúlveda, Porta, & Rocha (2003), sustancias que por su composición química son clasificados en dos grupos principales: nitrogenados y no nitrogenados. Los primeros incluyen a los alcaloides, aminoácidos no proteicos, aminas, glucósidos cianogénicos y glucosinolatos y los segundos; se dividen en terpenoides, poliacetilenos, policétidos y fenilpropanoides.

La variedad estructural dentro de un mismo grupo de MS está dada por modificaciones químicas a una estructura básica originada por reacciones químicas tales como la hidroxilación, metilación, epoxidación, malonilación, esterificación y la glucosilación (Wink & Schimmer, 1999). Esta variabilidad ocasiona perfiles metabólicos diferentes entre especies, entre los miembros de una población y entre los diferentes órganos de la planta, la cual hace parte de su mecanismo de adaptación. Se sabe que a un microorganismo patógeno o a insectos y vertebrados herbívoros, les resulta más difícil infectar o alimentarse de una población de plantas que individualmente contienen mezclas diferentes de MS, que de una población con una mezcla homogénea de MS. Los precursores de la biosíntesis de MS se derivan de rutas del metabolismo primario, tales como la glucólisis, el ciclo de Krebs o la vía del shikimato. Una síntesis constitutiva y específica de MS puede existir para cada tipo de órgano, tejido o tipo celular. Existen también MS que se sintetizan en todos los órganos y tejidos de la planta, pero que se almacenan en órganos o tejidos diferentes a los de su síntesis, a través de su redistribución por el xilema y/o el floema, o por el espacio apoplástico. La síntesis de MS depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles constitutivos sólo se incrementan como parte de la respuesta al estrés abiótico o biótico.

2.1.2.2 Reconocimiento de flavonoides.

Los flavonoides son pigmentos naturales presentes en los vegetales y que protegen al organismo del daño producido por agentes oxidantes, como los rayos ultravioletas, la polución ambiental, las sustancias químicas presentes en los alimentos, etc. En la revisión hecha por Martínez, S., González, J., Culebras, J., y Tuñón, M., (2002), sobre las propiedades y acciones antioxidantes de los flavonoides, describen cómo el organismo humano no puede producir estas sustancias químicas protectoras, por lo que deben obtenerse mediante la alimentación o en forma de suplementos. Están ampliamente distribuidos en plantas, frutas, verduras y en diversas bebidas y representan componentes sustanciales de la parte no energética de la dieta humana. Estos compuestos fueron descubiertos por el premio Nobel Szent-György, quien en 1930 aisló de la cáscara del limón una sustancia, la citrina, que regulaba la permeabilidad de los capilares.

Los flavonoides se denominaron en un principio vitamina P (por permeabilidad) y también vitamina C2 (porque se comprobó que algunos flavonoides tenían propiedades similares a la vitamina C). Sin embargo, nunca pudo ser confirmado el hecho de que los flavonoides fueran vitaminas y ambas denominaciones se abandonaron alrededor de 1950. Los flavonoides contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante, de allí sus propiedades protectoras, frente al daño oxidativo, y terapéuticas en un elevado número de patologías, incluyendo la cardiopatía isquémica, la aterosclerosis o el cáncer. Sus propiedades anti-radicales libres se dirigen fundamentalmente hacia los radicales hidroxilo y superóxido, especies altamente reactivas implicadas en el inicio de la cadena de

peroxidación lipídica y se ha descrito su capacidad de modificar la síntesis de eicosanoides (con respuestas anti-prostanoide y antiinflamatoria), de prevenir la agregación plaquetaria (efectos antitrombóticos) y de proteger a las lipoproteínas de baja densidad de la oxidación (prevención de la placa de ateroma).

Además de sus conocidos efectos antioxidantes, los flavonoides presentan otras propiedades que incluyen la estimulación de las comunicaciones a través de las uniones en hendidura, el impacto sobre la regulación del crecimiento celular y la inducción de enzimas de detoxificación tales como las monooxigenasas dependientes de citocromo P-450, entre otras (Martínez, González, Culebras, & Tuñón, 2002).

2.1.2.3 Reconocimiento de Alcaloides.

Los alcaloides son compuestos heterocíclicos que generalmente se sintetizan a partir de aminoácidos, tales como triptofano, tirosina, fenilalanina, lisina, arginina y ornitina, solos o combinados con terpenoides. También se pueden derivar de purinas y del acetato de los policétidos. Los alcaloides se pueden dividir en los siguientes grupos: alcaloides isoquinolólicos, alcaloides quinolizidínicos, alcaloides pirrolizidínicos, alcaloides tropánicos y alcaloides indólicos (Facchini, 2001). Por su similitud química de acuerdo con Wink, M., y Schimmer, O., (1999), las moléculas que participan en la transmisión de las señales del sistema nervioso, el efecto tóxico de los alcaloides radica en su capacidad de bloquear neuroreceptores, intermediarios de la transducción de la señal neuronal y canales iónicos de vertebrados e insectos. Mientras que sus efectos inhibitorios del crecimiento de microorganismos patógenos están dados por su capacidad de

intercalarse con el DNA, de detener la síntesis de proteínas, inducir la apoptosis e inhibir las enzimas del metabolismo de carbohidratos.

Otros alcaloides como los N-acil derivados de la nicotina de *Nicotiana sylvestris* Speg. son sintetizados de *novo* y solo cuando las plantas son heridas. La cantidad de derivados de nicotina que se acumulan en las hojas heridas basta para reducir el consumo y el crecimiento de las larvas de *Manduca sexta* L. (Baldwin y Ohnmeiss, 1993).

La berberina, palmatina y la sanginarina son alcaloides isoquinolólicos tóxicos a insectos y vertebrados, estos compuestos fueron estudiados por Sepulveda, G., Porta, H., y Rocha, M. (2003) infiriendo que también inhiben el crecimiento de bacterias, hongos y virus, reaccionan con grupos aniónicos y grupos nucleofílicos de aminoácidos o de otras moléculas como receptores y enzimas, inhibiendo su función. Los receptores adrenérgicos, nicotinérgicos, muscarinérgicos y de la serotonina son blancos de unión de estos compuestos. Así mismo, inhiben a las enzimas necesarias para la síntesis y el rompimiento del neurotransmisor acetilcolina. En este orden de ideas, expuesta la complejidad molecular que presentan los alcaloides asociados a potentes efectos fisiológicos con incidencias toxicológicas no solo al ser humano sino también a la especie animal, vegetal, las cuales directamente tienen relación con la dosis expuesta, convirtiéndose en un factor a abordar en el presente estudio con las respectivas recomendaciones y controles puesto que son un principio activo que debe ser controlado.

2.1.2.4 Beneficios de los Metabolitos Secundarios como compuestos bioactivos.

Las nuevas tendencias tecnológicas en investigación, desarrollo científico e innovación, se han enfocado en la producción de alimentos reestructurados y funcionales a partir de compuestos activos

como antioxidantes, vitaminas, aminoácidos, minerales e incluso de pequeñas moléculas como células, enzimas y microorganismos probióticos beneficiosos para la salud, en un entorno cada vez más exigente por poner a disposición productos que se diferencien por su capacidad nutraceútica.

Existe un gran interés en el incremento del consumo de las antocianinas. De acuerdo con Villacrez (2013), su consumo regular, así como el de otros polifenoles presentes en frutas y verduras, están asociados con la reducción de la probabilidad de contraer enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y Alzheimer.

Estudios demuestran la potencialidad de encontrar metabolitos secundarios en cultivos cítricos, lo cual se toma como punto de partida para el desarrollo de la presente investigación. Se estima que, en la industria de cítricos a nivel mundial, se producen más de 120 millones de toneladas, de las cuales el 40% es utilizado para la extracción de fruto como zumo, quedando como residuos la piel o cáscara, las semillas y la pulpa. El cítrico más producido a nivel nacional de acuerdo con lo reportado por Peñaranda, L., Montenegro, s. y Giraldo, P., (2017) es la naranja con una producción de alrededor de 228.128 t/año, seguido de las mandarinas con 109.768 t/año. Sin embargo, se presenta una revisión del potencial del lulo, reportada en la Tabla 1; que hacen de este cultivo un atractivo para estudiar su pertinencia en industria alimentaria desde la aplicabilidad de su cáscara.

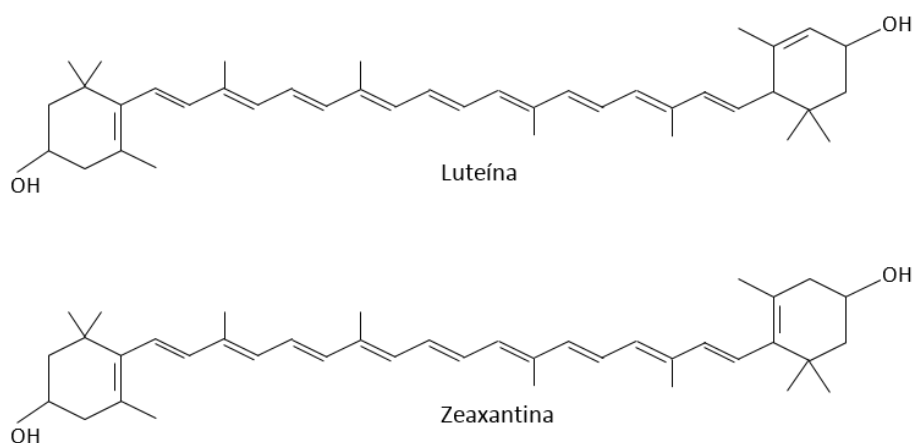
Tabla 1. *Propiedades fitoquímicas de la fruta del lulo (Solanum quitoense)*

Componentes	Propiedades
Carotenoides: luteína y zeaxantina	Previene enfermedades cardiovasculares y oftalmológicas
Actividad antioxidante y antiinflamatoria	Actividad citotóxica

Fuente: Elaboración propia, información tomada de Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina, (Cerón, Higuíta, & Cardona, 2011).

Los carotenoides se acumulan en los tejidos encargados de realizar la fotosíntesis, actuando como “antenas” que expanden el rango de absorción de energía de la clorofila al tiempo que desempeñan un papel importante en la fotoprotección de ciertas estructuras celulares (Pérez, s.f.)

Figura 3. Estructura de los pigmentos carotenoides (Luteína y Zeaxantina).



Fuente: Elaboración propia con base en Mellado y Hornero (2017)

Los carotenoides son pigmentos de origen natural, terpenoides de 40 átomos de carbono (C₄₀) (Ver figura 3), que actúan como antioxidantes protectores de la membrana al eliminar el O₂ y los radicales peróxido. Su capacidad antioxidante se atribuye aparentemente a su estructura. Son solubles principalmente en solventes apolares y se pueden categorizar en dos grupos según la presencia o ausencia de oxígeno en sus estructuras: carotenos (no contienen oxígeno) y xantofilas (contienen oxígeno) (Mellado & Hornero, 2017).

2.1.3 Metodología para la obtención de productos biofuncionales en la Industria Alimentaria

Abordando el estudio de diversas metodologías para la obtención de productos biofuncionales, se encuentra que el proceso de microencapsulación (Ver figura 4), es uno de los más efectivos en la industria alimentaria. Esta técnica consiste en rodear mediante un material encapsulante que se caracteriza por ser una envoltura resistente y estable, un núcleo o compuesto activo biofuncional en estado sólido, líquido o gaseoso. El procedimiento de secado se logra mediante *Spray drying* o secado por aspersión con aire caliente; una de las técnicas de microencapsulación más antiguas y el método más utilizado en la industria de alimentos por ser el más económico.

La microencapsulación proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. Es una técnica flexible, continua y económica que produce partículas esféricas de menos de aproximadamente 40 μm , lo cual es deseable desde el punto de vista de las características sensoriales y de textura del producto final (Muñoz C. , 2016). Así, la tecnología desarrollada garantiza la encapsulación de un material activo en una matriz protectora, con la incorporación de metabolitos secundarios entre otros compuestos de naturaleza química, sintetizados por las plantas y que ampliamente son usados como ingredientes alimentarios que ayudan a enmascarar o conservar, sabores, aromas, o material particulado con diversas propiedades biológicas, que se activan o liberan en determinados medios promoviendo el aumento en la vida útil del producto.

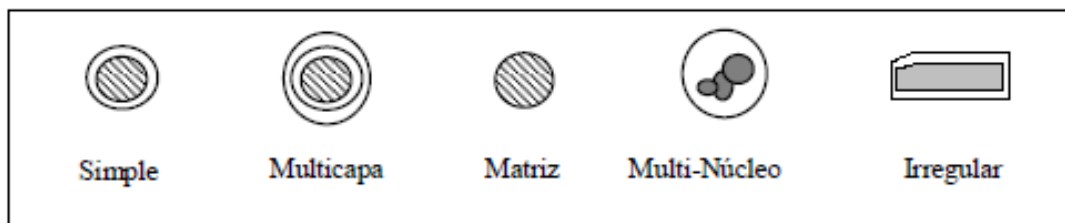
Según Villacrez, (2013), la característica del núcleo de la microcápsula implicará directamente en la selección del material de recubrimiento a utilizar; que permita acondicionarse a una sustancia permeable, semipermeable o impermeable; teniendo en cuenta la liberación del producto; si es por

acción instantánea, retardada o prolongada; sin que incurra en la pérdida nutricional de los compuestos activos, que de manera selectiva se requieran. Esta matriz protectora evitará la degradación producida por factores medioambientales como calor, luz, aire, humedad, oxígeno que aceleran las reacciones químicas, de tal manera que preserve la estabilidad de la matriz alimentaria. Entre los materiales comúnmente usados como películas de recubrimiento están las grasas como cera carnauba, alcohol estearílico, ácido esteárico; proteínas como gelatina, albúmina; polímeros como alginatos, dextrano, goma arábiga, derivados celulósicos, derivados acrílicos, poliésteres (poliláctico y copolímeros de ácidos láctico y glicólico), almidón de trigo, maíz, maltodextrina y proteína de lactosuero.

2.1.4 Morfología de las microcápsulas. Matrices para garantizar los principios activos

Una microcápsula consiste en una membrana esférica, semipermeable, delgada y fuerte que rodea un núcleo sólido o líquido, con un diámetro que varía de pocos micrones a 1000 μm . El núcleo que compone la microcápsula, denominado fase interna o principio activo, puede estar distribuido de acuerdo a su morfología y estructura interna en microcápsulas, micropartículas o microesferas. En estas últimas el principio activo se encuentra altamente disperso. Como se aborda en Lupo, B., González, C., y Maestro, A., (2012), las microcápsulas pueden tener forma esférica o irregular, así mismo, pueden estar constituidas por una membrana simple, múltiples capas e incluso núcleos múltiples cuya matriz puede ser del mismo material o una combinación de varios (Ver figura 4).

Figura 4. Morfología de Microcápsulas.



Fuente: Tipos de microcápsulas. Microencapsulación con alginato en alimentos. Tomado de Lupo, González, & Maestro, (2012).

Entre los compuestos activos en la cadena alimentaria que pueden ser encapsulados están los agentes odorantes (incluyendo condimentos y especias), ácidos, bases y buffers como el ácido cítrico, ácido láctico y bicarbonato de sodio; lípidos como el aceite de pescado y aceite vegetales; enzimas como las proteasas, microorganismos prebióticos, probióticos, aminoácidos y péptidos; vitaminas y minerales como la vitamina C, hierro; polifenoles como antocianinas, fitonutrientes y fibras solubles como lo señala Smith y Charter (2010, citado por (Lupo, González, & Maestro, 2012)).

2.2 Bioprospección

2.2.1 Biocomercio sostenible en agroindustria alimentaria

Los consumidores a nivel mundial exigen cada día más responsabilidad a las empresas a la hora de producir. El sector del agro no es la excepción y es mayor la necesidad de impulsar desarrollos sostenibles que promuevan la economía circular, productos orgánicos y la utilización al máximo de todos los residuos generados. Al respecto, un número considerable de noticias divulgan expectativas frente a ciencias aplicadas en procesos industriales, es el caso de Virtual Pro (2019), en donde menciona que el procesamiento de frutas en Colombia genera importantes cantidades de

residuos no comestibles, que pueden ser una fuente importante de compuestos valiosos. Alrededor del 70% del peso de las frutas y verduras se convierten en subproductos no comestibles. Es así como se requiere de un cambio de paradigma en la producción lineal hacia una producción circular, que tome en cuenta el enfoque del ciclo de vida del producto, en el que se apliquen criterios ambientales, económicos y sociales a lo largo de su transformación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Para el sector productivo, este cambio de paradigma consiste en incorporar conceptos y tecnologías que impulsen prácticas más sostenibles, introducir innovaciones en sistemas de producción o extracción de recursos para producir bienes y servicios más limpios, invertir en biotecnología y bioprospección para desarrollar propuestas a partir de la biodiversidad colombiana, que de acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2014) se puede aplicar esquemas de negocios inclusivos que promuevan la distribución justa y equitativa de los beneficios a través del fortalecimiento de las cadenas de valor.

Es así como las empresas encaminadas hacia el biocomercio generan un gran aporte a la sostenibilidad mundial, ya que la exigencia del mercado hace una presión adecuada hacia investigación y adopción de nuevos modelos. Las políticas del Gobierno Nacional (2017), prevé que la bioprospección, la biotecnología, y la bioinformática se consolidarán como actividades generadoras de empleo y desarrollo empresarial al impulsar al menos 50 iniciativas empresariales al año 2020. Al realizar estudios en esta importante estrategia, se pueden identificar y mejorar la calidad organoléptica, nutricional y el potencial nutracéutico de muchas especies que permitan incrementar el valor de la producción primaria y la agroindustria del país (CORPOICA, 2012).

A estas iniciativas, se le suman la necesidad de desarrollar actividades en conformidad con los criterios de sostenibilidad ambiental social y económica; o también llamado biocomercio. De acuerdo con Salinas, R., García, M., y Velásquez, A., (2015) la biotecnología abarca desde la biotecnología tradicional, por ejemplo, la fermentación de alimentos, incluso la biotecnología moderna, basada en la utilización de las nuevas técnicas del DNA recombinante (ingeniería genética), los anticuerpos monoclonales y los nuevos métodos de cultivo de células y tejidos.

En consecuencia, aprovechar las ventajas del país en cuanto a biodiversidad por medio del biocomercio está asegurada ya que como se ha mencionado, no solo se producen productos rentables desde lo económico, sino también se genera un gran aporte al medio ambiente así como en lo social proyectando servicios, no sólo a los que puedan beneficiarse directa e indirectamente de la rentabilidad del producto, sino reduciendo la inequidad y fortaleciendo la confianza y esperanza en una mejor calidad de vida de las comunidades y pueblos, como lo socializa Gómez, L., Morán, E., y Méndez, J. (2014) particularmente de carácter rural, que viven de la biodiversidad.

En Colombia se han realizado estudios de bioprospección referente al lulo, tales como el realizado por la Universidad Nacional denominado “Diseño de un producto biofuncional a base de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) con aplicación en alimentos”, elaboración de Muñoz, A. (2016), donde obtuvo un microencapsulado de lulo, el cual incorporó en una bebida láctea en tres concentraciones diferentes (3%, 5% y 7%) encontrándose que a mayor concentración del microencapsulado, se incrementaba el valor de la actividad antioxidante en la bebida. Así mismo, la bebida presentó mayor aceptación por parte de un panel de consumidores, lo que demuestra que

la bioprospección además de ser viable desde el punto de vista técnico, es muy viable desde el punto de vista de aceptación en el mercado.

La tabla número 2 presenta un resumen de las investigaciones a nivel de bioprospección realizadas en Colombia desde año 2001 y que sirven como punto de referencia para presentes y futuros estudios en el área:

Tabla 2. *Investigaciones de entidades y temas presentados durante los talleres nacionales*

ENTIDAD	ÁREA DE INVESTIGACIÓN	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química. Sede Bogotá	Flora colombiana, química y posibilidades de aprovechamiento	Estudios sobre elucidación de estructuras de metabolitos secundarios y análisis preliminares de actividad biológica
Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Farmacia. Sede Bogotá	Fitofarmacología, fitoquímica de especies medicinales	Fitoquímica y evaluación de actividad biológica. Obtención de nuevos productos naturales o de semisíntesis con posibles usos en terapéutica
Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química. Sede Bogotá	Química y tecnología de aromas de frutas de Colombia	Análisis químico y síntesis de aromas de frutas como papayuela, curuba, gulupa, lulo, piñuela, guayaba, mango entre otros
Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales ICN	Botánica económica, etnobotánica, etnobiología e informática	Estudio de familias, géneros y especies de interés socioeconómico y cultural en Colombia
Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira	Recursos genéticos	Caracterización, conservación y uso potencial de Capsicum (ají)
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Sede Bogotá	Cultivo de tejidos Mejoramiento genético Fisiología vegetal	Propagación in vitro, sanidad vegetal, metabolitos secundarios, mejoramiento genético y fisiología de poscosecha
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Uso de plantas medicinales	Control biológico

	como alternativa de control biológico en problemas fitosanitarios.	
Universidad Tecnológica del Chocó	Productos naturales de la región chocoana	Inventario y uso potencial de especies útiles del Chocó con base en experiencia en campo e información ubicada en herbarios y bases de datos
Universidad de Córdoba. Departamento de Química	Química de productos naturales de la región de Córdoba	Estudios de metabolitos secundarios con actividad biológica y potencial de uso de Annonaceae y Rutaceae
Universidad de la Amazonía	Frutales amazónicos	Caracterización bromatológica de frutales con potencial agroindustrial
Universidad del Magdalena	Poscosecha de frutas y vegetales del Caribe colombiano	Biotecnología y cadenas productivas de frutas y vegetales tropicales
Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Química	Fitoquímica de plantas del parque regional Ucumari	Determinación de actividad biológica y tamizado Fitoquímico
Escuela de Medicina Juan N. Corpas	Etnomedicina, etnofarmacia, productos fitoterapéuticos	Caracterización etnobotánica, clínica, taxonómica, toxicológica y fitoquímica
CENIPALMA	Palma de aceite	Estudios en fisiología, fitosanidad, y mejoramiento relacionados con el cultivo y productos derivados de la palma de aceite
FEDERACAFÉ - Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFÉ)	Investigación relacionada con el café	Caracterización del banco de germoplasma del café, estudios en fisiología, sanidad vegetal y mejoramiento genético
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI	Flora amazónica Frutales amazónicos, Manejo y transformación Recursos genéticos	Inventarios, conservación, uso, ordenamiento y monitoreo de ecosistemas Análisis bromatológico, manejo, conservación y procesamiento de materias primas promisorias de la región amazónica Caracterización (morfológica, bioquímica y

		molecular), conservación en bancos de germoplasma y uso prospectivo de la diversidad
Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT	Genómica	Estudios genómicos para mejoramiento, caracterización y conservación de frijol, yuca, arroz y forrajes
Fundación Colombiana Pro Comercio Justo y Mercados Verdes PROCOMVERDE	Plantas medicinales	Fomentos, promoción y patrocinio del manejo sostenible del comercio de plantas medicinales y sus derivados
Fundación Bertha Hernández de Ospina	Orquídeas	Inventarios y conservación de orquídeas

Fuente: Melgarejo, L. (2002)

Así mismo, los productos relacionados con el biocomercio brindarán oportunidades tanto para los usuarios que tienen como estilo de vida cuidar la salud y cambiar los hábitos tradicionales hacia un consumo sostenible, como a las empresas desde el punto de vista de competitividad, ya que entrará en diversificación de productos y ampliará su portafolio al poder entrar a nuevos mercados internacionales donde los clientes cada día son más exigentes con la responsabilidad social de las empresas, y por último, alcanzar el beneficio social y ambiental a largo plazo.

2.2.2 Proyecciones en el mercado mundial para frutas cítricas

La bioeconomía como estrategia de crecimiento orientada a la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos biológicos, potencian actividades de investigación y desarrollo para contribuir con el cumplimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) contemplados en la agenda 2030. Betancur, et al (2018), resalta en su trabajo, como la CEPAL ha hecho una interpretación acerca de cómo la bioeconomía puede llegar a contribuir e impactar los ODS, cualquier producto que tenga que ver con biotecnología o con bioprospección, tiene mucha posibilidad de éxito, ya que a nivel mundial hay preferencia por invertir en estos productos, sobre todo en los países

industrializados. La bioeconomía tiene un estimado de ventas globales al cierre de 2017 de USD 441.500 millones, y ha venido presentando tasas de crecimiento promedio anual superiores al 10%, marcando una gran diferencia frente a los sectores tradicionales según Betancur, et al (2018).

Al tener la biotecnología un mercado tan amplio, la competencia a nivel mundial cada día es mucho mayor, puesto que representa una oportunidad para dar valor agregado a los sectores tradicionales y diversificar sus portafolios de productos generando oportunidades de crear nuevas empresas de base tecnológica. Dentro de los sectores que puede impactar, de acuerdo con Betancur, et al (2018) se encuentran el agrícola y pecuario, alimentos, cosmético, textil, químico, construcción, salud, energía y ambiente.

Si Colombia pretende participar de este mercado, debe generar una estrategia de crecimiento económico basada en bioeconomía que gestione de manera eficiente y sostenible la biodiversidad y la biomasa residual para generar nuevos productos, procesos y servicios, basados en el conocimiento y la innovación, que permitan apalancar el crecimiento, el desarrollo y el progreso en las regiones. En este propósito, el lulo puede contemplarse como una gran oportunidad, puesto que al igual que otras frutas de gran demanda interna y externa, esta genera grandes cantidades de residuos agroindustriales constituidos por la semilla y la cascara, los cuales tienen un alto potencial, así como lo plantea la Universidad Militar Nueva Granda (2018), aprovechar diferentes procesos como la elaboración de nuevos productos, agregación de valor a productos originales y recuperación de condiciones ambientales alteradas.

Sin embargo, en países en vías de desarrollo estos residuos son comúnmente abandonados en vertederos o reducidos a cenizas, provocando contaminación del entorno, así como dejando perder

las amplias posibilidades de aplicación de estos materiales siendo insuficiente la revalorización de la biomasa (Cabrera, León, Montano, & Dopico, 2016). El hecho de que estos residuos agroindustriales están considerados entre los recursos renovables más importantes para la obtención de productos de interés económico y social, tienen además beneficios ambientales que justifican en gran medida el estudio específico de la cáscara de lulo en el contexto geográfico del municipio de Pitalito Huila puesto que se impulsará diseños experimentales para cultivo orgánico.

Respecto a la producción de lulo en Colombia, como se ha mencionado, los departamentos de Huila, Valle del Cauca y Antioquia generan el 43,7% de la producción nacional a 2013 frente a los 19 de departamentos restantes que reportan una participación del 56,3% de acuerdo con lo presentado por Peñaranda, L., Montenegro, S., y Giraldo, P., (2017) dónde solo once de ellos tienen participaciones superiores al 3%. La tendencia al alza en el comportamiento del precio y las hectáreas cultivadas de lulo en Colombia son impulsadas por el aumento de la demanda interna generaran a futuro, excedentes, que bien pueden ser aprovechados para la comercialización a nivel internacional; dónde se deben generar campañas publicitarias para dar a conocer el lulo y sus potencialidades; así como estrategias directas de búsqueda de nichos de mercado adecuados hacia dónde dirigir este fruto promisorio.

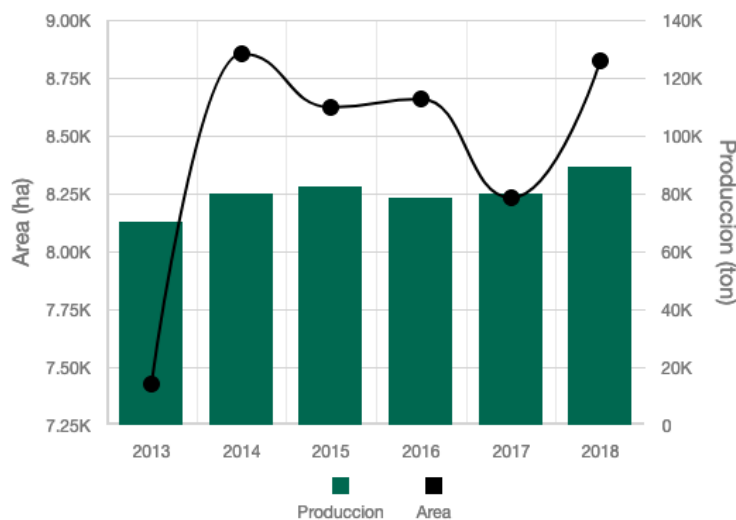
La producción de lulo en Colombia es de ciclo corto y esto genera ingresos semanales para sus productores y partícipes de la cadena de comercialización, en beneficio de la economía familiar. Es un frutal con mercados importantes en Colombia y Ecuador, como lo menciona Muñoz (2010) es de gran interés para mercados internacionales. Según el Censo Nacional de 10 frutas agroindustriales promisorias realizado por el DANE en el 2004, el lulo es el tercer frutal de mayor

importancia social y económica a nivel nacional, el cual se cultiva principalmente en los departamentos del Huila, Boyacá, Cauca, Nariño, Valle del Cauca, Risaralda, Cundinamarca y Antioquia, aunque también se encuentran cultivos en otros ocho departamentos en menores cantidades. Por tanto, se hace necesario buscar estrategias que ayuden al desarrollo sostenible de esta industria, ya que la mayoría de empresas dedicadas al procesamiento de frutas no tienen ningún plan para los residuos, debido al alto costo de su reutilización y, por el contrario, los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios” (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008).

2.2.2.1 Importancia del Lulo en el Sector Agrícola Colombiano.

El lulo se puede sembrar como un cultivo transitorio dentro de plantaciones de frutales de clima medio como cítricos, aguacate, plátano o café; así lo refiere la Gobernación del Huila (2006, citado por DANE, 2014) o durante la fase de establecimiento del lulo intercalado con cultivos de corto plazo de clima frío como fríjol, arveja o algunas hortalizas. La Figura 5, muestra la relación del área sembrada de lulo a nivel nacional versus la producción total en diferentes periodos de tiempo.

Figura 5. Área cosechada y producida de lulo 2013 - 2018 a nivel nacional.



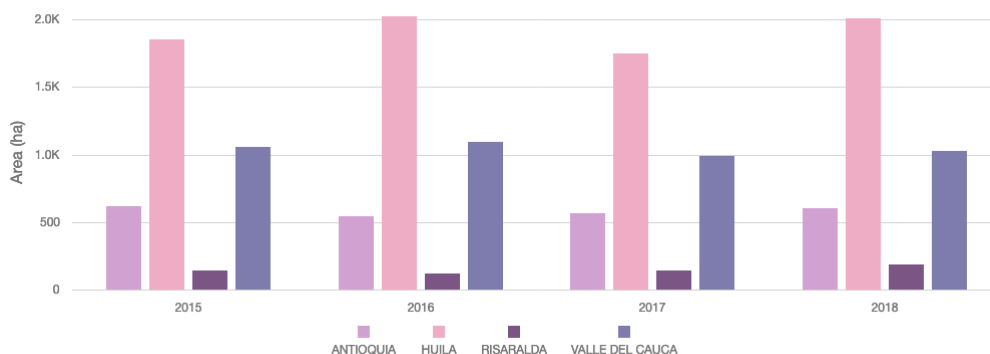
Fuente. Agronet (2018).

Como se puede observar en la Figura 5, las áreas cosechadas se han mantenido con leves aumentos anuales, salvo para el año 2015, que presentó disminución. Sin embargo, la cantidad producida es muy fluctuante, ya que depende mucho de factores ambientales y de la tecnificación de los cultivos y estandarización de procedimientos en la cosecha, de tal forma que se pueda sacar el máximo potencial de la planta en cuanto a producción por hectárea cultivada.

Para el departamento del Huila la importancia del cultivo del lulo es muy significativa, ya que de acuerdo a los datos de Agronet, Ministerio de Agricultura, (2018) el departamenteo ocupa el primer lugar a nivel nacional en área cultivada y en producción, aunque en rendimiento por hectárea le falta mucho aún para llegar al promedio estimado de otros departamentos, ya que está por debajo de 8 toneladas por hectárea, mientras otros departamentos han logrado llegar hasta las 16 toneladas por hectárea como es el caso de Risaralda, aunque este aún dista mucho del

rendimiento esperado de 27 toneladas por hectárea. En la Figura 6 se puede observar los departamentos con mayor área cosechada de lulo en los últimos 4 años.

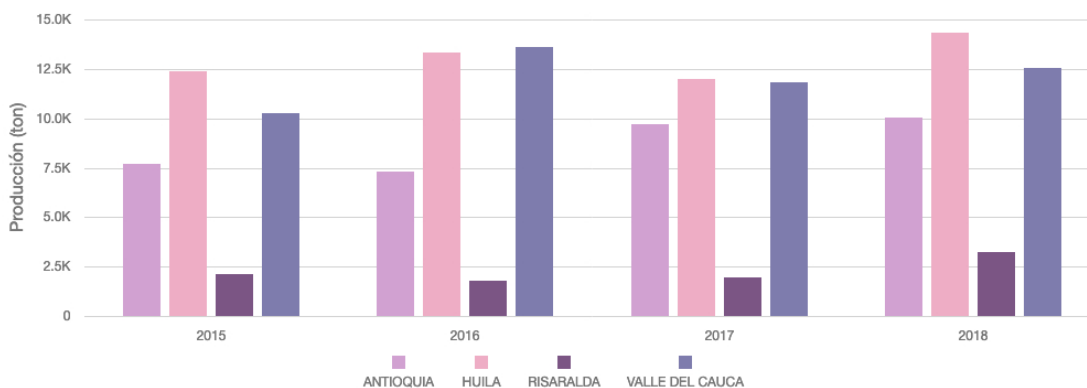
Figura 6. Área cosechada de lulo por departamento.



Fuente: Agronet 2018.

La Figura No. 7 muestra la producción de lulo en los últimos 4 años, donde Huila aún sigue siendo el principal productor, pero ya muy de cerca Antioquia y Valle, quienes tienen mucho menor área de siembra.

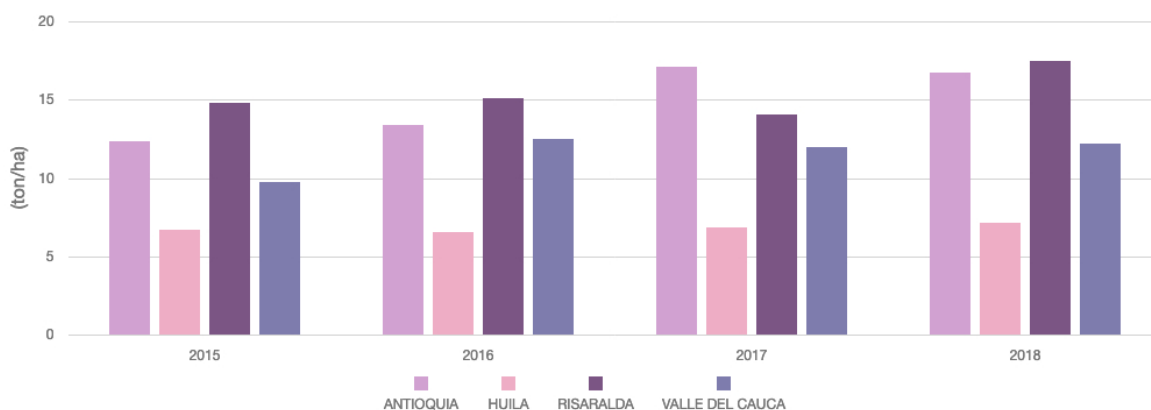
Figura 7. Producción de lulo por departamento.



Fuente. Agronet 2018.

Esta Figura nos indica algo muy importante y es que el departamento del Huila debe prestar especial atención a la productividad, ya que tiene mucha área cosechada para una producción proporcionalmente baja, lo cual puede evidenciarse en la siguiente figura.

Figura 8. Rendimiento del lulo por departamento



Fuente. Agronet 2018.

Como se observa en la Figura 8, los mayores productores de lulo de Colombia han venido teniendo un gran avance en cuanto al rendimiento de este cultivo con excepción del Huila, el cual se ha mantenido constante. El anterior dato es relevante para replantear la metodología de producción utilizada por este departamento, ya que está dejando de producir ingresos importantes para el sector.

2.2.2.2 Tamaño de mercado para el Sector Productivo de Lulo.

El tamaño del mercado de un producto de acuerdo con Opera Global Business (2017), es la cantidad vendida durante un periodo determinado, o en un área geográfica concreta, medida en unidades físicas o monetarias. Partiendo de esta definición, el tamaño del mercado de lulo (*Solanum quitoense*) a nivel nacional es de 86.810 toneladas a cálculos de 2018 (Agronet, 2018). En cuanto al mercado internacional, Zambonino (2012.) refiere que el tamaño es de aproximadamente 120.000 toneladas a cálculos del 2015, lo anterior teniendo en cuenta las exportaciones de la fruta ecuatoriana que fueron aproximadamente 75.000 toneladas, 28.000 toneladas exportadas por Colombia de acuerdo con el Ministerio de Comercio Industria y Turismo (2019) y el restante para los demás países productores de lulo que no registran datos.

El tamaño del mercado tiene un gran potencial tanto a nivel nacional como internacional ya que uno de los factores que influye el cambio alimentario es el nivel de ingreso, que en ciertos sectores de la población está aumentando rápidamente, lo que se traduce en un aumento de la demanda de alimentos más costosos como pescado, productos hortícolas, forestales (por ejemplo especias) y productos pecuarios, así como de productos que permiten diversificar la dieta” y exigen una preparación fácil (MinSalud, 2013). En cuanto al mercado internacional, el cultivo del lulo está en aumento, ya que es considerado un fruto exótico con muchas cualidades nutricionales, que va con la cultura extranjera del autocuidado y la salud, sin embargo, debe sortear todas las exigencias de calidad del público de otros países como son los productos orgánicos, embalaje, empaque etc.

De acuerdo con Lobo (2007), Colombia presenta una serie de factores que favorecen y potencian la producción de lulo, entre las que destacan la amplia variabilidad genética del taxón y

especies relacionadas; y en el mismo contexto, según Medina, C., Lobo, A., y Martínez, B., (2009) refiere los nichos ecológicos apropiados para su siembra y cultivo; la aceptación de los frutos por los consumidores; potencial agroindustrial; y alternativa para la reconversión productiva. Pese a estos factores favorables, Colombia no es un país autosuficiente en producción de lulo y tiene que importar cerca de 20% de lo que consume, principalmente de Ecuador. Además, la tecnología para la producción se encuentra poco desarrollada.

En la exploración de nuevos productos basados en el biocomercio, las frutas cobran gran interés, puesto que, al ser transformadas a sus diferentes formas para su comercialización, generan grandes residuos que al no tratarse adecuadamente se convierten en contaminantes, sin embargo, por medio de diferentes métodos de caracterización podrían destinarse como nueva fuente de materias primas, para lograr competitividad a nivel nacional, ya que Colombia tiene un porcentaje de participación en el mercado aproximado del 80%, y en cuanto al mercado internacional el lulo tiene una participación aproximada del 24%, siendo el primer exportador Ecuador.

2.2.3. Bioprospección en el área animal

La bioprospección se desarrolla como un proceso con una primera fase de exploración o investigación básica que facilita la identificación de especies con algún tipo de potencial, bien sea para el comercio de bienes, el comercio de servicios o la conservación. Esta primera fase debe ir acompañada de la documentación acerca de las tendencias e intereses del mercado global, así como lo estudia Melgarejo, et al., (2002) junto con la innovación científica y tecnológica apropiada para responder a la demanda nacional o internacional.

En cuanto a recursos genéticos animales, Colombia fue el primer país de Latinoamérica en iniciar programas de conservación en el año de 1939, acción apoyada por el Decreto Número 828, donde se estableció que el 25% de los hatos bovinos en manos de particulares debían estar conformados por ganado Criollo. Esto condujo, en el año 1940, a la conformación de núcleos de mantenimiento, correspondientes a las razas “Costeño con Cuernos” y “Blanco Orejinegro”. Otras entidades, como la Universidad Nacional de Colombia, sedes Medellín y Palmira y el Fondo Ganadero de Santander han conservado núcleos de razas bovinas como “Blanco Orejinegro”, “Chino Santandereano”, respectivamente; las dos últimas con poblaciones diezgadas en la actualidad. También es destacable el esfuerzo privado con la raza “Lucerna” de doble finalidad en el Valle del Cauca (CORPOICA, 2012).

2.2.4. Bioprospección en microbiología

En primera instancia es importante tener en cuenta como lo menciona Melgarejo, et al., (2002) que la bioprospección puede involucrar: búsqueda de un organismo o un componente biológico para llevarlo a un producto, u organismo(s) para un servicio ecológico, por ejemplo, biorremediación, fitorremediación, bioprospección no tangible, o relativa al conocimiento generado aplicable en otro contexto, o definir cierta planta o animal con usos medicinales, aislándola para su estudio.

En lo referente a las colecciones de microorganismos, el país actualmente cuenta con importantes estudios, en los que se menciona reconocidas instituciones, corporaciones y universidades (UNAD, 2011). En la mayoría de los casos el énfasis ha sido el de establecer plataformas de investigación que permitan enfocarse en problemáticas identificadas en la salud y

la agricultura. Entre las colecciones microbianas de mayor importancia se encuentran los ceparios de la Universidad Nacional de Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), CORPOICA, la Universidad de Antioquia, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad de los Andes, la Pontificia Universidad Javeriana, la Corporación de Investigaciones biológicas (CIB) y el CIAT, entre otros. De otra parte, como lo reporta Corpoica (2012), varias empresas privadas también cuentan con colecciones de microorganismos, muchos de los cuales tienen registro de producción comercial.

2.2.5 Bioprospección ecológica

Varios de los microorganismos presentes en las colecciones que maneja CORPOICA se han constituido en principio activo de varios bioproductos. En el caso de biofertilizantes se han desarrollado varios productos registrados con el nombre de Rhizobiol con base en los géneros bacterianos *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, los cuales son considerados fijadores simbióticos de nitrógeno, que permiten sustituir en su totalidad la fertilización nitrogenada en cultivos de leguminosas (soya, arveja, frijol). Así mismo, a base de la bacteria *Azotobacter chroococcum* (fijador asimbiótico de nitrógeno), se desarrolló el biofertilizante Monibac que permite sustituir hasta en un 50% la fertilización nitrogenada en cultivos de algodón, hortalizas y algunos forrajes.

Por otro lado, hay desarrollos que involucran productos con características para el control de plagas agrícolas tales como insectos y fitopatógenos. Este es el caso de un bioplaguicida a base de un virus específico para insectos (*Baculovirus*), el cual ha sido registrado comercialmente para la

protección de semilla de papa contra la polilla guatemalteca en condiciones de almacenamiento (CORPOICA, 2012)

2.2.6 Bioprospección química

Durante los últimos años, CORPOICA (2012) ha reportado los estudios adelantados con el Sistema de Bancos de Germoplasma como las acciones conjuntas de investigación lideradas por los diferentes centros de investigación de esta entidad a nivel nacional y otros actores del sistema de Ciencia y Tecnología del sector agropecuario, lo que ha permitido iniciar la exploración del potencial que poseen algunos de los materiales biológicos almacenados en los bancos de germoplasma. Dentro de las aproximaciones más relevantes se encuentran las caracterizaciones de atributos organolépticos, determinación de compuestos de actividad antioxidante y caracterización fenotípica (morfología) y genotípica (marcadores genéticos) en las colecciones biológicas de algunas de las especies de plantas tales como tomate, maíz, papayuelas de altura, granadilla, granadilla de piedra, curuba, gulupa, frijol, tomate de árbol, arracacha, ají y pimentón, papa común y criolla, lulo, uchuva, agraz, plátano, guayaba, cacao, guanábana y papaya, entre otras.

Para el caso específico del presente trabajo se abordó la prospección desde el concepto químico, es decir bioprospección química, donde se hace un estudio a fondo de los metabolitos secundarios del lulo, pretendiendo demostrar la importancia para la seguridad alimentaria de poder producir microencapsulados para el consumo humano como un complemento alimenticio o como materias primas de productos alimenticios.

2.2.7 Bioprospección en Industria Alimentaria

La bioprospección según la definición de Duarte (2013) es la búsqueda sistemática, clasificación e investigación de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas y otros productos que poseen un valor económico actual o potencial y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica. Esta definición cobra aún más significado en la industria alimentaria por cuanto su producto principal, los alimentos, y sus residuos, son susceptibles de servir como fuentes generadoras de ingresos al reutilizarse para diferentes fines.

En Colombia aún falta mucha inversión para garantizar la apropiación de las metodologías, pese a que existen estudios importantes en el campo agrícola y pecuario, el alcance de la bioprospección en el país es bajo en comparación con otros países latinoamericanos como Brasil con más de 800 centros de bioprospección, Costa Rica con 43, Colombia se encuentra en gran desventaja con apenas alrededor de 20 centros (Montenegro & Hernández, 2015), a pesar de ser uno de los países más biodiversos del mundo. No obstante, la bioprospección le abre un campo enorme a un fruto exótico como el lulo, que se puede explotar obteniendo compuestos bioactivos que luego pueden ser utilizados en la industria de alimentos o para el cuidado de la salud. Dichos compuestos bioactivos son aquellos químicos con efectos farmacológicos que modulan alguna función corporal del individuo, produciendo una mejora en su salud, bienestar o reduciendo un riesgo de enfermedad. De acuerdo con Hurtado, R., y Ortiz, L., (2018) estos componentes se encuentran en general en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal a los que se les denomina compuestos fitoquímicos.

Colombia tiene como objetivo para 2025 de acuerdo con Montenegro, S., y Hernandez, Y., (2015), ubicarse entre los tres líderes del sector biotecnológico en América Latina, para lo cual requiere conectarse con las tendencias mundiales enmarcadas en el desarrollo de actividades de bioprospección que actúen en armonía con el entorno ambiental garantizando la seguridad alimentara, logrando así buscar un equilibrio económico, social y ambiental en las regiones donde se realicen dichos estudios.

Entre las alternativa a considerarse viables para que las ciudades reintegren a una cadena productiva los residuos generados, que directamente permita reducir la afectación por contaminación es procesar los residuos orgánicos generados como una fuente importante de compuestos que pueden ser utilizados debido a sus propiedades favorables tecnológica o nutricionalmente, de hecho, recientemente como lo menciona Tamayo, L., Cartagena, C., y Londoño, J., (2011) se ha demostrado que los residuos de cítricos contienen antioxidantes que pueden tener un efecto benéfico para la salud humana así su valor aún sea desconocido y, sobre todo, la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias con la suficiente calidad e inocuidad ha evitado ser usadas en los procesos de valor agregado.

Las frutas cultivadas en las zonas templadas se caracterizan por tener una gran porción comestible y cantidades moderadas de material de desecho, tales como cáscaras y semillas. Tamayo et al., (2011) plantean en contraste con el procesamiento de frutas tropicales y subtropicales, mayor cantidad de residuos que unido al aumento de la producción, representa un problema cada vez mayor, pues el material vegetal suele ser propenso a la descomposición microbiana, lo que limita su explotación comercial.

Si se tiene en cuenta que los residuos agroindustriales son una fuente potencial de riqueza que está muy lejos de ser suficientemente aprovechada, solo la fotosíntesis produce, anualmente, entre 150 y 164 billones de toneladas de biomasa, pero según la literatura, de esa cantidad solo se convierten en alimentos 400 toneladas, o sea, el 20 % (Ramos, Gutiérrez, & Rodríguez, 2000).

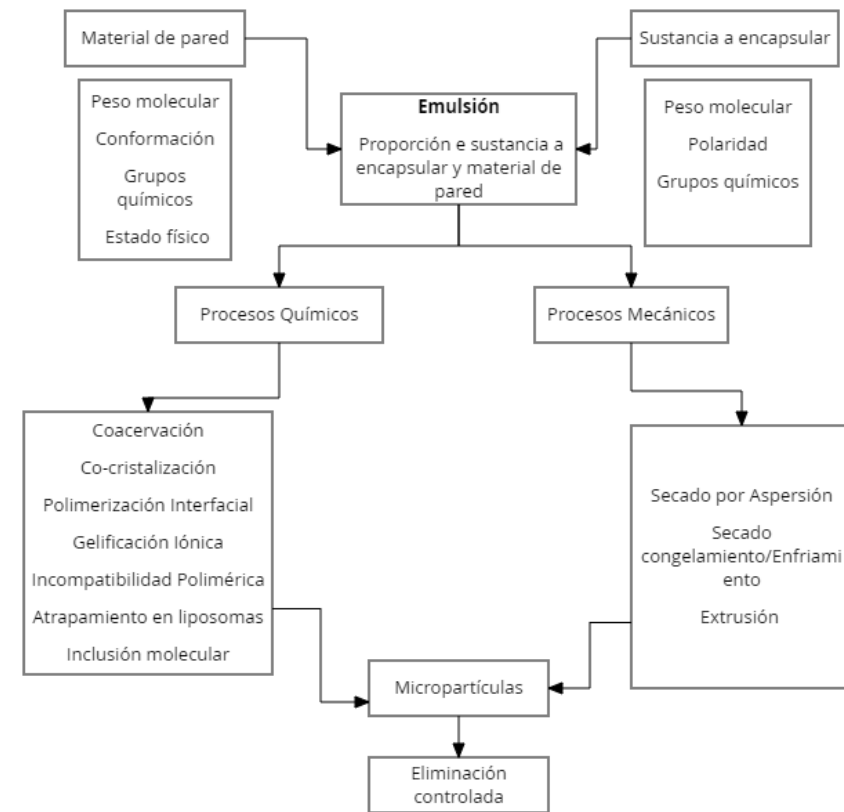
El sustento teórico para realizar un estudio exhaustivo sobre las propiedades del lulo y sus residuos con potencial uso en la industria alimentaria, es escaso en cuanto a referentes de estudios realizados en este mismo aspecto que sirvan de base para la presente investigación, sin embargo, desde el punto de vista de la bioprospección, bioeconomía, biocomercio, y los objetivos de desarrollo sostenible que tiene el país, se hace necesario estar a la vanguardia de Latinoamérica en estos aspectos.

2.3 Métodos de Síntesis para procesos de Agroindustria Alimentaria

2.3.1 Técnicas de encapsulación

Los principales procesos utilizados para encapsular materiales sólidos, líquidos o gaseosos, son los químicos y mecánicos, que permiten conservar el contenido activo en un material encapsulante como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Técnicas de encapsulación en Alimentos.



Fuente: Elaboración propia con base en Revisión: Microencapsulación de Alimentos Parra (2010).

Las películas de alginato pueden ser de dos tipos con diferentes propiedades: las películas solubles en agua utilizando alginato de sodio y películas solubles en aceite utilizando alginato de calcio. Las películas solubles en agua se pueden formar por evaporación de una solución de alginato o por extrusión de una solución de alginato en un no-divalente que se mezcla con agua, tal como acetona o etanol (Avendaño, López, & Palou, 2013). Tomando como partida las técnicas de encapsulación para alimentos (Figura 9), el presente estudio centra su desarrollo a través de procesos químicos como la gelificación iónica con alginato de sodio como el agente encapsulante.

2.3.2 Métodos Seleccionados

2.3.2.1 Procesos Químicos.

Coacervación: El proceso de coacervación tiene como principio un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales. Este proceso es apropiado para soluciones coloidales. La técnica simple involucra solamente un tipo de polímero con la adición de agentes fuertemente hidrofílicos a la solución coloidal, que como lo menciona Madene, Scher y Desobry (2006, citado por Parra, 2010) esta compleja solución se caracteriza por ser altamente inestable a agentes químicos como el glutaraldehído.

Co-cristalización: Es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto (Astolfi et al., 2005, citado por Parra, 2010). Numerosos productos pueden ser encapsulados como jugos de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes y azúcar morena (sacarosa), etc. Durante el proceso, el líquido saborizado es transformado en gránulos secos y algunos compuestos termosensitivos pueden ser degradados. El aceite de la cáscara de naranja ha sido encapsulado utilizando procesos de cocrystalización, además de aceites vegetales. Un ejemplo de aplicación de esta técnica ha sido el encapsulamiento por cristalización de jugo de maracuyá (*Pasiflora edulis*) en sacarosa. El pH del

jugo concentrado fue ajustado a 3,5, 4,5 y 5,5 y los porcentajes de jugo adicionado fueron 10, 15 y 20% p/p respectivamente (Montes, De Paula y Ortega, 2007, citado por Parra, 2010).

Polimerización interfacial: En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interfase de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de las microcápsulas. En el proceso se lleva a cabo la dispersión de la solución acuosa de un reactante soluble en agua, en una fase orgánica para producir una emulsión de agua en aceite. Posteriormente la formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior; finalmente la separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación (Villena et al., 2009, citado por Parra, 2010).

2.3.2.2 Procesos Mecánicos

Secado por aspersión: Este proceso involucra tres etapas: preparación de la dispersión o emulsión, homogenización y atomización. Consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, formándose al final finas gotas sobre una corriente de gas calentado. Cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas y a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra. En este método el componente o sustancia a encapsular es rodeado por una matriz protectora, normalmente un polímero como goma acacia, maltodextrina, almidón y carbometilcelulosa (Gharsallaoui et al., 2007; Parize et al., 2008, citado por Parra, 2010).

Aspersión por enfriamiento o congelamiento: Este método es considerado uno de los más adecuados para el secado de materiales biológicos y alimentos sensibles. La aspersión por enfriamiento y congelamiento involucran dispersión de ingredientes solubles en agua en una grasa fundida o cera; esta dispersión se realiza a través de inyectores con calefacción dentro de una cámara a temperatura ambiente o temperatura de refrigeración; si la cámara está a temperatura ambiente, el material de encapsulación tendría un punto de fusión entre 45 y 122 °C y si la cámara está fría, los materiales fundirían a 32-42 °C pudiendo ser utilizados. Las microcápsulas son insolubles en agua, es por ello que podría ser liberado su contenido cuando la temperatura del producto alimenticio aumenta por encima de la temperatura de fundición de la grasa o cera.

Una variante del secado por aspersión consiste en enfriamiento o congelamiento, donde el material a encapsular es mezclado con el acarreador y es atomizado por medio de aire frío. Las microcápsulas son producidas por nebulización de la emulsión o suspensión que contiene el material pared y la sustancia activa puede ser sólida o líquida. De acuerdo con Madene, Scher y Desobry (2006, citado por Parra, 2010), las coberturas empleadas usualmente son aceites vegetales, de esta manera se pueden encapsular líquidos sensibles al calor y materiales que no son solubles en disolventes convencionales. La reducción de la temperatura produce una solidificación del lípido pared y el atrapamiento de la sustancia activa en el centro de la cápsula. La aspersión por enfriamiento es usualmente empleada para encapsular compuestos químicos como sulfato ferroso, vitaminas, minerales, acidulantes, sabores y aromas, productos de panadería, sopas en polvo y alimentos conteniendo un alto nivel de grasa.

2.4 Desarrollo de productos por procesos de base tecnológica

El almacenamiento de las materias primas o de productos terminados, está expuesto al riesgo de agentes como roedores, insectos, hongos e incluso bacterias, algunos de los cuales contaminan los alimentos durante la recolección. A las pérdidas generadas por los aspectos mencionados, se pueden sumar otras condiciones físicas no adecuadas en el almacenamiento como lo sugiere Mayer, L., Beroluzzo, S., y Bertoluzzo, M., (2006), la humedad, temperatura, luz, etc. y además, en el proceso de producción de alimentos se pueden producir pérdidas de partes de la estructura de la materia prima, que afectan su valor nutricional. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el presente estudio define unos procesos de base tecnológica apropiada para el desarrollo de la investigación, los cuales se nombran a continuación.

2.4.1 Proceso de Liofilización

La Liofilización de acuerdo con Mayer et al (2006) como un proceso industrial, se desarrolló en los años 50 del siglo XX, pero se trata de una operación ya empleada por los Incas. El procedimiento ancestral consistía en dejar por la noche que los alimentos se congelasen por la acción del frío de los Andes y gracias a los primeros rayos de sol de la mañana y la baja presión atmosférica de las elevadas tierras andinas se producía la sublimación del agua que se había congelado, este proceso es conocido como, liofilización natural. Se pueden liofilizar para su conservación materiales no vivientes, tales como plasma sanguíneo, suero, soluciones de hormonas y productos farmacéuticos biológicamente complejos como vacunas, sueros y antídotos; transplantes quirúrgicos con mucho tejido conectivo: arterias, piel y huesos; microorganismos simples destinados a durar largos períodos sin heladera, como bacterias, virus y levaduras. El

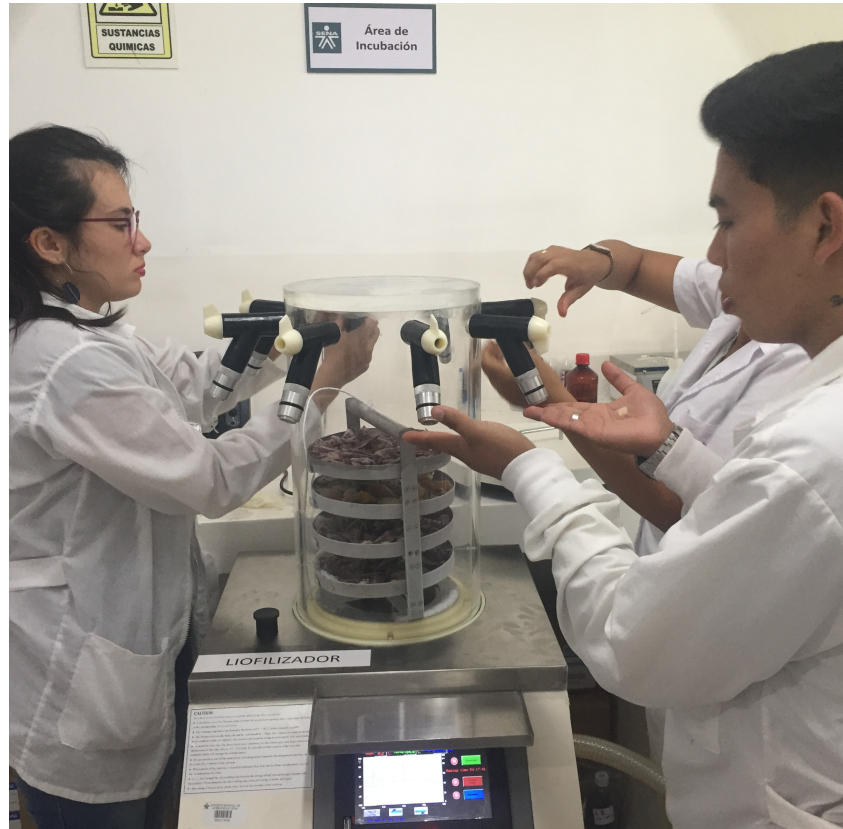
proceso no es apto para células de tejidos blandos, que, si bien se pueden liofilizar, pierden su viabilidad en el proceso.

La liofilización es entonces, ampliamente usada para la conservación de productos alimenticios porque detiene el crecimiento de microorganismos como hongos, mohos, etc., inhibe el deterioro del sabor y color por reacciones químicas, enranciamiento y pérdida de propiedades fisiológicas y facilita el almacenamiento y la distribución. No sólo deja de ser necesaria una cadena de frío, sino que, a pesar de la gran pérdida de peso, los productos mantienen el volumen y la forma original. El material es fácilmente rehidratable. El ciclo se desarrolla en dos fases:

- Fase de sublimación propiamente dicha, llamada “deshidratación primaria”, que elimina alrededor del 90 % del agua.
- Fase de desorción o de “dsecación secundaria”, que elimina el 10 % del agua ligada restante y que permite obtener un producto con una humedad final del 2%. Esta fase es una evaporación al vacío a temperatura de 20 a 60 °C.

Teniendo en cuenta que el punto triple del agua se sitúa a la presión de 610 Pascal, a la temperatura de 0,01°C, la sublimación sólo puede tener lugar a una temperatura inferior a 0 °C y a una presión inferior a 610 Pascal (4,58 mmHg).

Figura 10. Montaje de Liofilización de Cáscara de Lulo.



Fuente: presente estudio

La sublimación es un cambio de estado endotérmico que involucra alrededor de 2.800 KJ por kg de hielo sublimado. Puesto que la liofilización es una operación muy costosa, existe el interés de que la cantidad de agua a eliminar de un producto sea mínima y por lo tanto es conveniente efectuar una preconcentración. En la Figura 10, se muestra el montaje de liofilización utilizado para el tratamiento a la cáscara de lulo, teniendo en cuenta el principio de operación de la técnica. En la primera fase se considera el pretratamiento del producto. En cualquier caso, la técnica de concentración escogida debe ser suave con el fin de que el producto que se introduzca en el

lío filizador sea de calidad satisfactoria. En este caso al tratarse de un producto sólido se debe considerar que puede disminuirse el tiempo de secado dividiendo su volumen (cortado, raspado, triturado, etc.) con el fin de aumentar la superficie de transferencia.

2.4.2 Mecanismos de gelificación con alginato

El proceso de formación del gel según Lupo et al (2012) se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna desde donde el ion calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica, como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio resultando en un material sólido con las características de un gel. El grado de gelificación depende de la hidratación del alginato, la concentración del ión calcio y el contenido de los G-bloques (Funami et al., 2009). La transición sol-gel se ha visto esencialmente controlada por la habilidad de introducir el ión vinculante al alginato. También se ha observado que la cinética de gelificación y las propiedades del gel pueden depender del tipo de contra-ión, es decir, el ión monovalente de la sal de alginato (K o Na). De hecho, se ha encontrado que los alginatos de potasio presentan un proceso de transición sol-gel más rápido respecto a los alginatos de sodio preparados a bajas concentraciones de calcio. A pesar que los geles de alginato de calcio obtenidos mostraron semejante estabilidad a simple vista, al ser analizadas sus propiedades reológicas se evidenciaron marcadas diferencias en los módulos elásticos, siendo menores los valores de módulos elásticos para los geles preparados a partir del alginato de sodio que en aquellos con alginato de potasio. En este sentido, se ha señalado que este aspecto de las propiedades viscoelásticas de los geles puede ser contrarrestado utilizando alginatos con mayor composición de ácido gúlrónico en su estructura (Draget, 2000). Los mecanismos de gelificación iónica se han

llevado a cabo fundamentalmente por dos procesos: la gelificación externa y la gelificación interna.

2.4.2.1 Gelificación externa.

El proceso de gelificación externa ocurre con la difusión del ión calcio desde una fuente que rodea al hidrocoloide hacia la solución de alginato de pH neutro. La formación del gel se inicia en la interfase y avanza hacia el interior a medida que la superficie se encuentra saturada de iones calcio, de manera que el ión sodio proveniente de la sal de alginato es desplazado por el catión divalente solubilizado en agua. Este interacciona con los G-bloques de diferentes moléculas poliméricas, enlazándolas entre sí. Aunque, la fuente de calcio más usada ha sido el CaCl_2 debido a su mayor porcentaje de calcio disponible, existen otras sales empleadas con menor frecuencia tales como el acetato monohidratado y el lactato de calcio (Helgerud et al., 2010).

2.4.2.2 Gelificación interna.

El proceso de gelificación interna consiste en la liberación controlada del ión calcio desde una fuente interna de sal de calcio insoluble o parcialmente soluble dispersa en la solución de alginato de sodio. La metodología de Helgerud et al (2010), plantea que la liberación del ión calcio puede ocurrir de dos formas, si se tiene una sal de calcio insoluble a pH neutro pero soluble a pH ácido, por lo que es necesario adicionar un ácido orgánico que al difundirse hasta la sal permita la acidificación del medio consiguiendo solubilizar los iones calcio. En este caso, las sales de calcio más empleadas son el carbonato de calcio y el fosfato tricálcico, y en casos específicos el fosfato dicálcico y el citrato tricálcico. Para la acidificación del medio se cuenta con ácidos orgánicos como el acético, adípico y el glucono delta-lactona. Si la sal de calcio es parcialmente soluble, el

proceso de gelificación interna consiste en la adición a la mezcla alginato-sal de calcio, un agente secuestrante como el fosfato, sulfato o citrato de sodio. Al adicionar un secuestrante este se enlaza con el calcio libre retardando así el proceso de gelificación, el sulfato de sodio ha sido comúnmente el más empleado debido a su bajo costo y conveniente solubilidad.

La principal diferencia entre el mecanismo de gelificación externa e interna es la cinética del proceso. Si lo que se pretende es el control de la transición sol-gel, Dranget (2000) sugiere que en el proceso de gelificación externa los factores a manipular sean la concentración de calcio y composición del polímero; mientras que, para el proceso de gelificación interna se deben considerar la solubilidad y concentración de la sal de calcio, concentración del agente secuestrante y del ácido orgánico empleado.

El desarrollo del presente estudio, se basa entonces en la aplicación del principio de gelificación con una fuente externa de ión calcio, que permite el reagrupamiento y estructuración de la nueva molécula gelificada con el principio activo garantizando de acuerdo con la metodología planteada la microencapsulación de compuestos antioxidantes del lulo.

2.5 Normativas asociadas a sostenibilidad

En el presente estudio se planteó la idea de que la sostenibilidad es un concepto dinámico que incluye la búsqueda de la calidad ambiental, la justicia social y una economía viable y equitativa a largo plazo. El nuevo modelo de desarrollo ha de estar basado en una nueva ética cuyo pilar esencial sea el de la solidaridad entre todos los miembros de la especie humana (independientemente de la generación a la que pertenezcan) y entre éstos y todos los seres vivos (Aznar, Piñero, & Martínez, 2014).

El concepto de desarrollo construido en el mundo occidental estuvo basado en el paradigma mecanicista y racionalista desde una visión de dominio sobre la naturaleza y dejaba a un lado el cuidado del medio ambiente. En este sentido, el modelo ambiental de acuerdo con Anón (2005) se debe ver el desarrollo como algo intrínseco a la propia esencia del medio ambiente, visión que conduce a actuar sobre cualquier esfera desde un enfoque en el que la naturaleza y el medio ambiente se consideran como factores estratégicos del desarrollo. De hecho, la propuesta de ‘desarrollo sostenible’, como su mismo nombre sugiere, es un intento de afrontar, de manera integrada, los desafíos de nuestra humanidad. La emergencia y el fortalecimiento de los esfuerzos hacia el desarrollo refuerzan el significado e importancia del sector agropecuario, la familia rural, su impacto en la seguridad alimentaria, su contribución a la conservación de la agrobiodiversidad y al manejo sostenible de los recursos naturales (Cruz, 2003). La nueva visión holística comienza, por tanto, a influir todas las reflexiones en torno a las políticas y estrategias de desarrollo en nuestro país. La comprensión de este enfoque conduce a la interpretación de la compleja realidad y el reconocimiento del desarrollo como un proceso permeado de relaciones de interdependencia y complementariedad, en los que el respeto a la naturaleza, el conocimiento de sus límites, su historia y la participación en la construcción del futuro pasan a ser los elementos de mayor relevancia en busca de un legítimo proceso de desarrollo (Taymer, Suset, Machado, & Campos, 2007)

Abordando el Marco de trabajo normativo de acuerdo con Downey (2006), se requieren técnicas agrarias rentables para incorporarlas en los sistemas de producción de manejo animal y de cultivos propuestos en las directivas europeas y en la legislación nacional, relacionadas con la seguridad, la salud y el comercio.

Desarrollos políticos que contemplan algunos aspectos importantes de la investigación sobre la competitividad y el comercio de sectores productivos, en cuanto a política económica agroalimentaria, se detallan a continuación:

- El desarrollo adicional de modelos sectoriales agrícolas para proyectar sobre las industrias agroalimentarias, un impacto debido a la reducción de los valores de sustento (reforma de la PAC); liberación del comercio y globalización de los mercados (resultado de la OMC). Las restricciones ambientales y la cuantificación de sus impactos, especialmente sobre la sostenibilidad socioeconómica y medioambiental de las regiones rurales.

- La descripción de los efectos de un incremento global de la contratación, asociado con las nuevas tecnologías de procesado y transporte, para los sectores ganadero, agrícola, hortícola y forestal.

- Evaluación del impacto de los programas públicos de investigación, incluyendo el justificante de su coste; y mejorando la eficiencia de la investigación y la incorporación de los resultados de la investigación dentro de la política de desarrollo.

3. Metodología

El presente estudio se desarrolló por medio de una investigación aplicada y exploratoria descriptiva, en búsqueda de dar valor agregado a un fruto cítrico de gran importancia en la economía del país, por lo que se hizo necesario desarrollar vigilancia tecnológica básica para análisis fisicoquímico, tanto para materias primas como para productos funcionales obtenidos, generando conocimiento de los componentes activos del lulo que se cultiva y cosecha en el sur de Colombia con potencial en la industria alimentaria. Finalmente, se analizaron los datos estadísticos encontrados de producción del lulo en el departamento del Huila para tener un referente del impacto que tendría la implementación y comercialización de los productos agroindustriales obtenidos, evaluando necesariamente la viabilidad de comercialización en el mercado al que pretende impactar la propuesta de bioprospección.

3.1 Descripción de la Metodología

El diseño de la investigación abarcó dos enfoques: El cuantitativo, en el que, a través de una serie de procesos fisicoquímicos en laboratorio, se analizó las propiedades de la fruta del lulo, así como también el desarrollo de la técnica de microencapsulación con alginato para cuantificar las concentraciones de compuestos esperados de acuerdo a la literatura analizada. La microencapsulación forma una matriz altamente versátil, biocompatible y no tóxica para la protección de componentes activos, células o microorganismos sensibles al calor, pH, oxígeno y luz, entre otros factores, a los que son expuestos los alimentos durante el procesamiento y almacenaje (Lupo, González, & Maestro, 2012). Determinada la capacidad de metabolitos secundarios con potencialidad en industria alimentaria, se establecieron las estrategias para

comprender la manera como serían apropiados los desarrollos tecnológicos por parte de los productores agrícolas, explorando y describiendo desde la perspectiva de los participantes su ambiente natural y la relación con su contexto, puesto que son estudios sobre los cuales se desea indagar y plantear nuevas perspectivas; conformando la investigación cualitativa. Esta apuesta productiva que se considera rentable para el sector económico lulero abordó entonces, un estudio correlacional; que tuvo como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular (Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014); la capacidad de obtener compuestos bioactivos con las alternativas de producción a escala industrial que puedan comercializarse, conquistando nuevos mercados.

3.2 Procedimientos Generales

3.2.1 Localización

La recolección y clasificación de los frutos en estado de madurez se llevó a cabo en seis (6) fincas productoras de lulo de manera aleatoria asociadas a la Agencia de Reintegración y Normalización (ARN) de la Presidencia de la República en el sur del Huila, específicamente en los municipios de Pitalito, San Agustín, Isnos y Palestina.

Información geográfica:

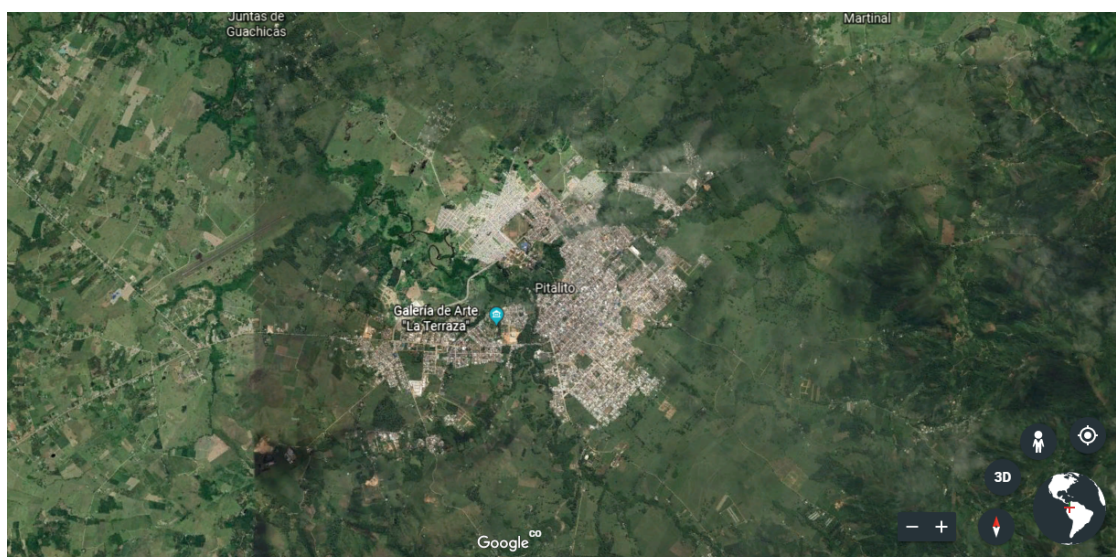
Pitalito: Localidad Pitalito, vereda Guarapas, Altitud 1387 msnm, Latitud (georreferenciada) 1° 43' 47" N, Longitud 76° 9' 35" W

Palestina: Localidad Palestina, Vereda Quebradón, Altitud 1562 msnm, Latitud (georreferenciada) 1° 44' 47" N, Longitud 76° 07' 58" W

Isnos: Localidad Isnos, Sector el Bajo Frutal, Altitud 2077 msnm, Latitud (georreferenciada) 1° 55' 44" N, Longitud 76° 12' 59" W

San Agustín: Localidad San Agustín, Sector caserío de los Cauchos, Altitud 1732, Latitud (georreferenciada) 1° 52' 45" N, Longitud 76° 16' 18" W

Figura 11. Área de estudio Zona de Muestreo Sur del Huila.



Fuente: Google Earth 2019. Link <https://earth.google.com/web/@1.85298045,-76.0549189,1255.94228375a,11617.43049174d,35y,0h,0t,0r>

3.2.2 Proceso de análisis físico químico del lulo

Al producto muestreado en el área de estudio se le realizaron análisis para verificar su calidad sensorial como morfología y tamaño de los frutos de lulo al momento de la recepción de materia prima en la planta de procesamiento. Posteriormente se hizo la medición de parámetros fisicoquímicos como peso, temperatura, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y densidad. A continuación, se relacionan las variables a medir durante el proceso:

Variables de medición

Acidez titulable y pH. La acidez titulable fue determinada siguiendo el procedimiento estándar (AOAC, 2006), a partir de 10 g de fruta y el resultado fue expresado como porcentaje de ácido ascórbico. La medición del pH para la pulpa de la fruta fue determinada usando de manera directa en la muestra un potenciómetro disponible en Planta de Agroindustria; para el tratamiento a la cáscara, luego del proceso de liofilización y deshidratación convencional se pulverizó, con la cual se realiza una solución de adicionar a 1 g de cáscara 10 mL de agua destilada para la medición con potenciómetro.

Sólidos solubles totales. Los sólidos totales (°Brix) se midieron por refractometría (AOAC, 2006). Se colocó una gota de la fruta sobre el vidrio inferior del refractómetro, después se cerró y se realizó la medida a contraluz en escala de °Brix usando un refractómetro disponible en agroindustria. Se calibró con agua el cero de la escala del refractómetro antes de cada medida.

3.2.3 Obtención de Microencapsulados de Lulo

El proceso de formación del gel se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna desde donde el ión calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica, como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio resultando en un material sólido con las características de un gel de acuerdo con la metodología de Lupo, González & Maestro (2012).

3.2.3.1 Tratamientos Microencapsulados de Lulo.

Los nueve (9) tratamientos definidos en el proceso de microencapsulación de lulo se presentan en la Tabla 3 en la que se definen cinco (5) variables que garantizan el proceso de bioencapsulación

con alginato de sodio. Para este proceso se varía el porcentaje del biopolímero en un 58,30%, 47,5%, 44,70%, 42,70% 29,80% y 14,9%, necesario para analizar la formación y estabilidad del producto final.

Tabla 3. *Tratamientos Microencapsulado de Lulo*

Tratamientos	Pulpa de Lulo PL[g]	Agua W[g]	Alginato Alg [g]	Cáscara de lulo CL[g]	Aditivos Ad [g]
Tratamiento 1	52,40	0,00	47,50	0,00	0,10
Tratamiento 2	73,36	9,14	14,90	2,50	0,10
Tratamiento 3	62,88	17,12	14,90	5,00	0,10
Tratamiento 4	52,40	0,30	44,70	2,50	0,10
Tratamiento 5	62,88	4,72	29,80	2,50	0,10
Tratamiento 6	62,88	2,22	29,80	5,00	0,10
Tratamiento 7	51,40	0,80	42,70	5,00	0,10
Tratamiento 8	38,40	0,30	58,70	2,50	0,10
Tratamiento 9	36,30	0,30	58,30	5,00	0,10

Fuente: presente estudio 2019

La ionización con fuente de calcio externa para el proceso de gelificación se realizó con Cloruro de Calcio (CaCl_2) en concentraciones m/v de 1%, 3%, y 5%, observando la reacción y consistencia de las microcápsulas de lulo formadas.

3.2.4 Marcha Fitoquímica

Para la determinación y cuantificación de metabolitos secundarios de materias primas y productos finales a partir del lulo (*Solanum quitoense*) se estandarizaron extractos etanólicos al 98% para realizar marcha fitoquímica de acuerdo con la metodología establecida por la Universidad de la Amazonía (2019).

3.2.4.1 Reconocimiento de Taninos. Gelatina- Sal.

Se toma 1 ml de cada extracto etanólico al que se le agregan unas cuantas gotas de una solución gelatina-sal (gelatina al 1% y cloruro de sodio al 10%). La presencia de un precipitado o turbidez en la muestra indica prueba positiva para taninos (Rivera, D.D, 2008; Cardona, N., & Salazar, M. 2012).

3.2.4.2 Reconocimiento de flavonoides.

Para el reconocimiento de flavonoides se realiza la Prueba de Shinoda: se toma 1 ml de cada extracto etanólico, posteriormente se agrega una pequeña cantidad de magnesio en polvo y unas gotas de ácido clorhídrico concentrado. Esta prueba da positivo para coloraciones rojas, naranjas o rosadas indicando la presencia de flavonoides (Bilbao 1997; Andersen, Ø. M. and K. R. Markham, 2006)

3.2.4.3 Prueba de tricloruro férrico.

Se adiciona 1 ml de cada extracto etanólico posteriormente se agrega en un tubo de ensayo y se adicionan unas gotas de la solución acuosa de FeCl_3 al 1%. Se indica que la prueba es positiva cuando se observa una coloración verde (Taninos condensados) o azul (Taninos hidrolizables). (Bilbao, 1997).

3.2.4.4 Reconocimiento de Quinonas.

Prueba de reacción con ácido y un donador de electrones: se toma 1 ml de cada extracto y se agrega en un tubo de ensayo; posteriormente se adiciona una pequeña cantidad de Zinc en polvo

y gotas de ácido clorhídrico concentrado. La prueba es positiva cuando se observa una coloración amarilla indicando la presencia de antraquinonas (Verde-Star, et al. 2016).

3.2.4.5 Reconocimiento de Cumarinas.

Prueba de reacción de fluorescencia para cumarinas: se toma 1 mL de cada extracto etanólico posteriormente se tapa la parte superior con papel filtro impregnado con la solución de NaOH (5%) seguidamente se lleva a un baño maría hirviendo donde se deja por 10 minutos. El papel se observa con una luz U.V. Si hay cumarinas volátiles se observa fluorescencia amarillo verdoso (Carvajal et al 2009).

3.2.4.6 Reconocimiento de saponinas.

Prueba de espuma: se toma 2 mL de cada extracto etanólico donde se adiciona en un tubo de ensayo y se agita vigorosamente durante un minuto. La formación de espuma abundante y estable da como prueba positiva indicando la presencia de saponinas (Martínez. A, et al. 2008).

3.2.4.7 Vainilla-Acido Ortofosfórico (V.A.O).

Se toma 1 mL de cada extracto etanólico posteriormente se adiciona unas gotas del reactivo de V.A.O. el resultado positivo manifiesta una coloración azul violáceo de la interface (Coy et al, 2016).

3.2.4.8 Reconocimiento de alcaloides.

Prueba de Dragendorff: se toma 1 ml de cada extracto etanólico y se adiciona en un tubo de ensayo, posteriormente se agregan unas gotas del reactivo de Dragendorff. Las pruebas dan

positivas con la formación de un precipitado rojo o naranja (Bilbao 1997; Waksmundzka, M. et al. 2008).

Prueba de Dragendorff modificado: se toma 1 ml de cada extracto etanólico posteriormente se adiciona en un tubo de ensayo donde se agrega unas gotas del reactivo. La formación de un precipitado naranja indica la presencia de alcaloides.

Prueba de Ehrlich: se toma 1 ml de cada extracto etanólico seguidamente se adiciona a un tubo de ensayo donde se agrega unas gotas del reactivo de Ehrlich. Finalmente se deja por 30 minutos. Una coloración entre azul y violenta indica una prueba positiva (Waksmundzka, M. et al. 2008).

Prueba de Wagner: se toma 1 ml de cada extracto etanólico posteriormente se adiciona unas gotas del reactivo de Wagner. La presencia de un precipitado café indica prueba positiva (Verde-Star, et al. 2016).

Prueba de Mayer: se toma un tubo de ensayo donde se agrega 1 mL de cada extracto etanólico posteriormente se adiciona unas gotas del reactivo de Mayer (solución de mercurio- yoduro de potasio) (Bucay & col., 2009).

3.2.5 Diseño Experimental

Se recolectaron frutos maduros de manera aleatoria y al azar con una estructura factorial de 6 x 6, siendo las repeticiones los frutos y el factor a comparar; las fincas, para poder comprobar las diferencias en los frutos de una a la otra. La recolección fue realizada en los municipios de Pitalito, San Agustín, Isnos y Palestina, en fincas productoras de lulo asociadas a la Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN) entidad adscrita a la Presidencia de la República de Colombia. Se usó el paquete estadístico SAS University Edition con un rango estudentizado de

Tukey (HSD) para los parámetros de peso, temperatura, pH, acidez, densidad, porcentaje de humedad, actividad acuosa en cáscara estableciendo una hipótesis experimental de 95% de confianza.

Los Bloques completos al azar con arreglo factorial en el cual se tiene en cuenta el efecto de la localidad se nombran a continuación:

- 6 fincas productoras de lulo
- Muestra lotes de producción con densidad de 533 plantas por hectárea
- Unidad experimental: 6 plantas por lote
- Unidad de observación: 6 frutos por planta
- 36 unidades experimentales

3.2.6 Análisis estadístico

El desarrollo del presente estudio contempló un Análisis de Varianza ANOVA como la técnica estadística más utilizada para comparar grupos de medidas y determinar el efecto de la localidad sobre las variables físico químicas del fruto, posteriormente un análisis pos hoc de Tukey 0.05 para determinar diferencias entre las variables.

3.2.7 Análisis multivariado

Se analizó una serie de componentes principales para determinar las variables con mayor peso dentro del estudio considerando el error estándar calculado, posteriormente un biplot para determinar la relación entre las variables (ACP) y relacionarlo mediante gráficos multivariados,

para conocer la dispersión de las características fisicoquímicas en función de la localidad y estas sobre las variables estudiadas.

3.2.8 Estudio de Mercado

Para el análisis de mercado se analizó la oferta, la demanda, los precios y los canales de distribución del lulo. La obtención de datos se logró a través de fuentes de información secundarias, como el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, el DANE, el Ministerio de Agricultura y alcaldías. También se utilizó otras fuentes como repositorios de tesis de maestría de la Universidad Nacional de Colombia y revistas científicas especializadas en ciencias aplicadas a biotecnología. En cuanto a fuentes primarias se utilizó la técnica de entrevista no estructurada, donde el entrevistado no afronta un listado establecido de preguntas, más la entrevista se desenvuelve abiertamente con mayor flexibilidad y libertad, para el caso específico del presente estudio, se realizó con 12 productores de lulo de la región del Huila con periodicidad de reuniones quincenales durante 4 meses.

El cálculo de la demanda del lulo se basó en la fórmula de consumo aparente para productos agrícolas de la siguiente manera:

$$CA=PB+M-X$$

CA=consumo aparente

PB= producción bruta

M= importaciones

X= exportaciones

Para el caso específico de Colombia no se cuenta con una cifra exacta de importaciones de lulo, lo que hizo necesario el cálculo con base en estudios de años anteriores que indican que Colombia

importa aproximadamente una producción de 1.000 hectáreas, que para el promedio nacional de rendimiento por hectárea es de 8.2 toneladas, y con estas cifras extrapolar la cantidad del importe.

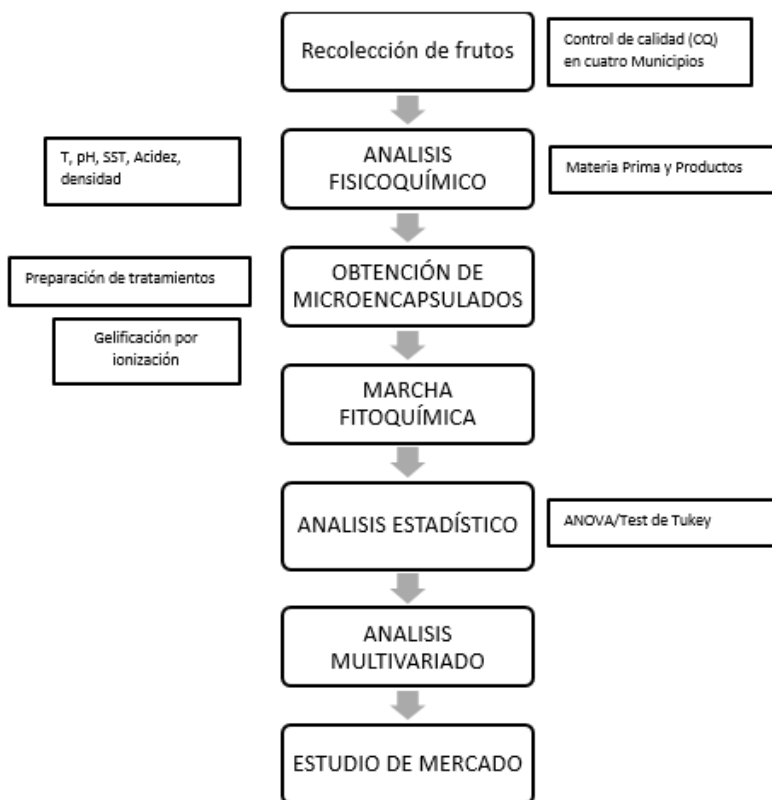
El cálculo de la oferta del lulo se estableció a partir de los datos reportados por Agronet para el año 2018.

El análisis de precios se realizó con datos suministrados por Corabastos Bogotá, quien tiene una plataforma estadística muy confiable para productos del agro.

Por último, el análisis de la distribución de los productos, se llevó a cabo con fuentes primarias de información como las entrevistas no estructuradas con 12 productores de lulo de la región, estableciéndose la forma cómo el lulo llega al consumidor final.

Se presenta a continuación en la Figura 12, el diagrama de flujo general de lo que comprendió el Estudio fitoquímico del Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam).

Figura 12. Diagrama de Flujo Estudio Fitoquímico de Lulo (*Solanum quitoense* Lam.)



Fuente. Presente estudio 2019

4 Resultados

El cultivo del lulo (*Solanum quitoense*) representa para el departamento del Huila una actividad productiva de gran importancia en la economía de la región; es así, que la investigación representó una oportunidad para conocer las características de los frutos alcanzados entre otros factores por los diversos métodos de cultivo llevados a cabo por los agricultores que directamente inciden en la calidad obtenida. En esta investigación se estudiaron y observaron frutos de cuatro municipios del sur del Huila, en su orden: los frutos correspondientes a la Fincas 1 y 2 en el Municipio de

Palestina, Finca 3 en el municipio de Isnos, Fincas 4 y 5 en el municipio de Pitalito, y Finca 6 en el Municipio de San Agustín.

4.1 Parámetros Fisicoquímicos de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

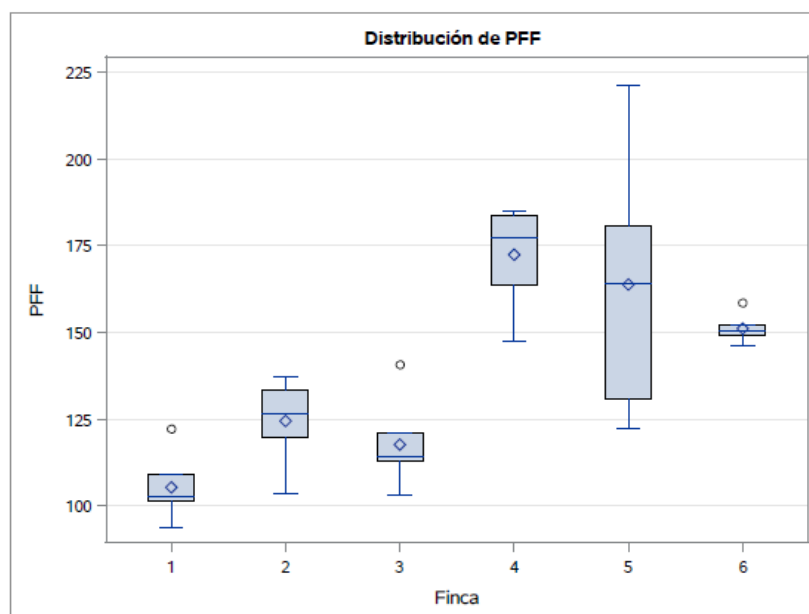
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica que contempla el análisis de variables como temperatura, peso, pH, sólidos solubles totales y densidad para los frutos de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam). Si comparamos lo que comercialmente y con buenas prácticas de manejo se pueden esperar para producciones de lulo de hasta 40 Ton/ha, con composición química en el fruto de 7,7 °Brix, pH de 2,98, % Acidez 2,81, Vitamina C (mg/100 mL) de 33,20 (Fontagro, 2017), se puede deducir que los resultados alcanzados en el presente estudio guardan relación, teniendo en cuenta que en el periodo de postcosecha del lulo, las pérdidas de la fruta presentan porcentajes entre el 30% y 40%, lo que ha conllevado a que agricultores a nivel nacional dejen de cultivarlo. Actualmente este cultivo en Colombia presenta inconvenientes que limitan su productividad y competitividad, ya que de un potencial calculado de veintisiete (27) Ton/ha, solo se tiene un promedio de cultivo nacional de ocho (8) Ton/ha” (Martín, 2018).

4.1.1 Peso de Fruto Fresco

En la Figura 13, se presenta la distribución de los pesos de fruto fresco de lulo con respecto a las seis (6) fincas muestreadas, en la que se pueden observar diferencias estadísticas significativas en la finca 5 con respecto a las fincas 1 y 3; sin embargo, no presenta diferencias estadísticas con

respecto a las fincas 4, 6 y 2. La finca 5 presentó valores del peso del fruto mayores que la finca 1 y 3.

Figura 13. Distribución de los Pesos del Fruto Fresco de Lulo con respecto a las fincas

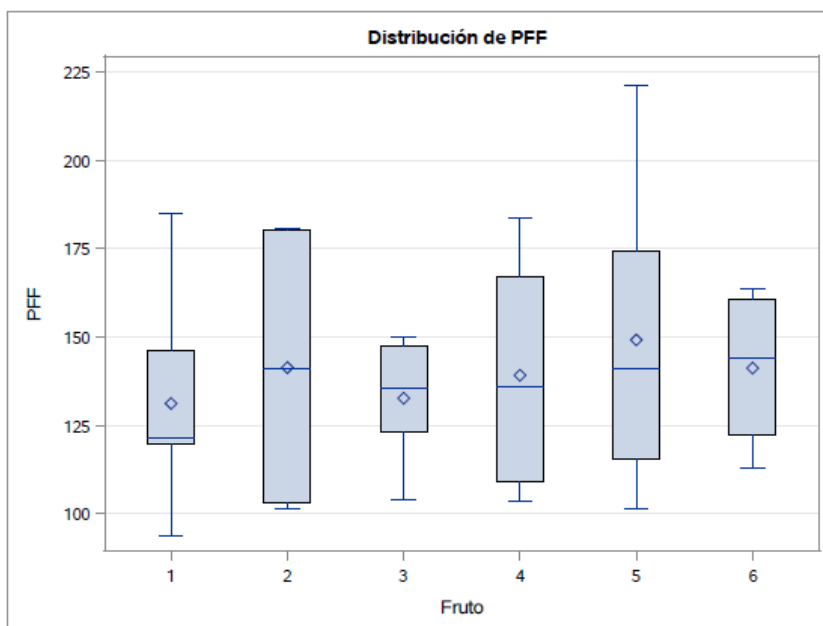


Fuente. Presente estudio 2019

El peso es una variable que incide mucho en un fruto; los tamaños de los cítricos fueron muy variados, lo que se evidencia en el rango de amplitud tan alto que directamente está asociado al error estándar (finca 5); situación que se presenta debido a que la determinación de esta variable (PFF) no se hace fruto a fruto, sino un total; es decir en agrupamiento. De manera general, la finca 4 presenta valores favorables para el peso, determinadas por las condiciones geofísicas, la altitud, la temperatura, la humedad y el suelo fértil de Pitalito, que, aunadas a mejores condiciones de producción, hacen que el fruto presente mejor peso y por ende mejor rendimiento de la pulpa, directamente impactando y beneficiando a productores y comercializadores.

A continuación, en la figura 14, se presenta la distribución de los pesos del fruto fresco al interior de cada área muestreada.

Figura 14. Distribución de los pesos del Fruto Fresco del Lulo con respecto a los frutos



Fuente. Presente estudio 2019

La Figura 14, muestra que no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre frutos; el peso se comporta como una característica constante y homogénea, lo que se explica en el hecho de que los agricultores usan la misma técnica de cultivo en todas las áreas de producción.

A continuación, se relacionan los Test de Comparaciones múltiples de medias de Tukey para las variables fisicoquímicas analizadas en la presente investigación:

La Tabla 4 presenta las medias de las variables físicas; peso del fruto fresco, peso de la cáscara y peso de la semilla del lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.), que fueron observadas durante el diseño experimental.

Tabla 4. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

variable	Peso del Fruto fresco[g] PFF					Peso Cascara fresca [g] PCF					Peso Semilla fresca [g] PSF				
	N	Media	±	EE		n	Media	±	EE		n	Media	±	EE	
Trata. 1	6	105,3000	±	3,9357337	c	6	18,01667	±	2,0221139	bc	6	10,950000	±	1,6329421	a
Trata. 2	6	124,4333	±	4,9527546	bc	6	30,66667	±	3,1193660	a	6	15,716667	±	1,9133595	ab
Trata. 3	6	117,6500	±	5,1306107	c	6	13,20000	±	0,7844319	cd	6	6,0500000	±	2,1839948	b
Trata. 4	6	172,3200	±	5,9249698	a	6	15,56833	±	0,3980236	bcd	6	9,4016667	±	0,2739880	b
Trata. 5	6	163,7533	±	14,5937701	a	6	10,84167	±	0,7685502	d	6	6,2166667	±	0,1939358	b
Trata. 6	6	151,0200	±	1,6836666	ab	6	21,57333	±	0,8880641	b	6	8,7666667	±	0,2333333	b
P-Value					<0,0001					<0,0001					<0,0005

Fuente: Presente estudio 2019

Los valores de la Tabla 4 muestran para los seis tratamientos analizados (Fincas) diferencias significativas (P-value <0,005), en el cual se forman cuatro grupos que de acuerdo con la metodología estudentizada de Tukey; el Tratamiento 4 (Finca 4) para la variable PFF se encuentra en el grupo superior (a) con una media de $172,3200 \pm 5,925$ g. Este comportamiento puede estar directamente relacionado con las condiciones climáticas, los nutrientes aplicados al cultivo y factores geofísicos propios del Municipio de Pitalito, lo que implica que se formen cuatro grupos donde los mayores pesos alcanzados son para la finca 4, 5 y 6. De igual manera, se observa un grupo inferior donde se encuentran las fincas 2,3, y 1. Las medias de los pesos de la cascara representan diferencias significativas entre los factores, para el tratamiento 2 (PCF= $30,66667 \pm 3,1194$ g) su ubicación corresponde al grupo superior (a); mientras para las medias de las semillas, los tratamientos 2 y 1 (PSF= $15,716667 \pm 1,9134$ g) (PSF= $10,950000 \pm 1,6329421$) representan el grupo superior de acuerdo con el método estudentizado de Tukey.

La Tabla 5 presenta los promedios de las variables peso de la pulpa PPF, porcentaje de cascara (%) y porcentaje de pulpa (%) del lulo.

Tabla 5. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

variable	Peso pulpa [g] PPF					Porcentaje cáscara [%] PC					Porcentaje pulpa [%] PPu				
	N	Media	±	EE		n	Media	±	EE		n	Media	±	EE	
Trata. 1	6	63,7500	±	4,4066427	cd	6	17,07893	±	1,8649318	B	6	60,3492	±	2,7054987	c
Trata. 2	6	61,2917	±	4,0132783	d	6	24,59522	±	2,2174059	A	6	49,4596	±	3,1981046	d
Trata. 3	6	97,1000	±	6,0098808	bc	6	11,26369	±	0,6497800	bcd	6	82,3166	±	2,0420999	ab
Trata. 4	6	144,2000	±	6,1986380	a	6	9,077415	±	0,3273375	Cd	6	83,5541	±	0,8053533	ab
Trata. 5	6	145,5400	±	14,7638051	a	6	6,894170	±	0,7655530	D	6	88,4024	±	1,1783834	a
Trata. 6	6	113,0600	±	3,77533840	ab	6	14,29528	±	0,6171904	Bc	6	74,8376	±	2,1437492	b
P-Value			±		<0,0001					<0,0001					<0,0001

Fuente: Presente estudio 2019

Como se puede observar en la Tabla 5, la prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso de la pulpa de los frutos de lulo, se establecen diferencias estadísticas significativas (P-value <0,001), distribuyendo los tratamientos con respecto al peso de la pulpa en 4 grupos (a, b, c y d) de los cuales, las fincas 4, 5 y 6 son los que mayores valores obtuvieron (grupo a); guardando concordancia, puesto que a un tamaño de fruta grande, mayor será el contenido de pulpa por tanto mayor los residuos generados(cascara, semilla). De igual manera los porcentajes de cáscara y pulpa con respecto al fruto, también presentan diferencias estadísticas significativas (P-value <0,001); el grupo superior con el tratamiento 2 (Municipio de Palestina).

4.1.2 Temperatura

La temperatura es un parámetro fundamental para el cultivo de una planta, su desarrollo y productividad. En la Tabla 6 se muestran las temperaturas de la pulpa y la cascara del fruto fresco:

Tabla 6. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

variable	Porcentaje Semilla [%] PS					Temperatura Pulpa Fruto Fresco T_PFF [°C]				Temperatura Cascara Fresca T_PCF [°C]			
	N	Media	EE	p		n	Media	EE		n	Media	EE	
Trata. 1	6	10,4496	± 1,6526567	c		6	21,133333	± 0,4279148	b	6	21,133333	± 0,1542004	a
Trata. 2	6	12,6256	± 1,4215779	d		6	21,733333	± 0,5226003	a	6	20,650000	± 0,2753785	a
Trata. 3	6	5,24839	± 1,9332102	ab		6	20,266667	± 0,1115547	b	6	20,433333	± 0,1744834	a
Trata. 4	6	5,50457	± 0,3116928	ab		6	20,825000	± 0,2264766	ab	6	20,616667	± 0,2227355	a
Trata. 5	6	3,97699	± 0,4300205	a		6	20,483333	± 0,1833333	ab	6	21,183333	± 0,1558133	a
Trata. 6	6	5,81004	± 0,1754761	b		6	21,150000	± 0,4500000	ab	6	21,150000	± 0,2432420	a
<i>P-Value</i>				<0,0001					0,0591				0,0443

Fuente: Presente estudio 2019

La prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para la temperatura (Tabla 6) en los diferentes tratamientos no representa diferencias estadísticas significativa ($P\text{-Value} > 0,005$); con respecto a la media $T = 20,825 \pm 0,2265^{\circ}\text{C}$ (Tratamiento 4).

4.1.3 Potencial de Hidrogeno pH

El pH es una variable de gran importancia en los frutos, indica la acidez o alcalinidad de una solución. A continuación, se presenta la tabla 7, que describe los valores medios alcanzados con el pH de la pulpa del fruto y la cáscara fresca.

Tabla 7. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

Variable	pH de Pulpa Fruto Fresco pH_PFF					pH Cáscara fruto fresco pH_PCF					Solidos Solubles Totales Pulpa fruto Fresco SST_PFF [°Brix]			
	n	Media	EE			n	Media	EE			n	Media	EE	p
Trata. 1	6	2,8216667	± 0,0283333	b		6	3,8683	± 0,0282154	a		6	9,4833	± 0,1716521	a
Trata. 2	6	2,8566667	± 0,0379180	ab		6	3,9183	± 0,0164148	a		6	9,5017	± 0,2831892	a
Trata. 3	6	2,7950000	± 0,0196214	b		6	3,8883	± 0,0334082	a		6	9,1733	± 0,2259892	ab
Trata. 4	6	2,9433333	± 0,0111555	a		6	3,8533	± 0,0142984	a		6	8,7050	± 0,1052853	b
Trata. 5	6	2,8566667	± 0,0466667	ab		6	4,0650	± 0,1615085	a		6	8,7000	± 0,1971125	b
Trata. 6	6	2,8616667	± 0,0299351	ab		6	4,0800	± 0,1752902	a		6	9,5933	± 0,1792887	a
<i>P-Value</i>				<0,0037					0,4858					<0,0002

Fuente: Presente estudio 2019

El promedio del pH para la pulpa del fruto fresco presenta diferencias estadísticas significativas ($P\text{-Value} < 0,0037$) con respecto a los 6 tratamientos, los cuales se agrupan en dos conjuntos principales (a, b). El tratamiento 4 (Finca 4) está en el grupo superior (a) con una media de $\text{pH}=2,943\pm0,0116$; y en la misma agrupación las fincas 6, 5 y 2.

El promedio del pH para la cáscara no presenta diferencias estadísticas significativas de acuerdo con el rango estudentizado de Tukey ($P\text{-Value} > 0,4858$).

Es muy importante determinar la potencialidad del pH del fruto del lulo en el presente estudio; justamente porque está catalogado entre los cítricos de más contenido proteico y vitamínico. El pH no solo indica acidez, sabor agradable, sino también un medio para controlar propagación de microorganismos, puesto que en un medio ácido estos no sobreviven.

4.1.4 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales, que están directamente relacionados con el contenido de azúcar en el fruto, aportan de manera natural el dulzor del fruto. En la Tabla 8 se presentaron los sólidos solubles totales tanto de la pulpa del fruto fresco como la cáscara fresca del lulo. A continuación, se presenta el test estudentizado de Tukey para SST ($P\text{-Value} < 0,0089$).

Tabla 8. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

Variable	Solidos Solubles Totales Cascara fruto Fresco SST_PCF [°Brix]					Acidez Pulpa del Fruto Fresco AC_PFF [%Ácido cítrico]				
	n	Media	EE	p		n	Media	EE	p	
Trata. 1	6	15,08333	± 0,2508873	ab		6	2,880000	± 0,0400832	ab	
Trata. 2	6	15,40000	± 0,1032796	ab		6	2,908333	± 0,0232976	abc	
Trata. 3	6	14,88333	± 0,0703167	b		6	2,920000	± 0,0150555	a	
Trata. 4	6	15,60667	± 0,1330079	a		6	2,931667	± 0,0394476	c	
Trata. 5	6	14,81667	± 0,1222475	b		6	2,880000	± 0,0400832	ab	
Trata. 6	6	15,08333	± 0,2088327	ab		6	2,895000	± 0,0295240	ab	
<i>P-Value</i>					<0,0089					<0,0001

Fuente: presente estudio 2019

Los valores obtenidos SST (Tabla 8) en la cáscara presentan diferencias estadísticas representativas, agrupándose en dos secciones (a, b). Los tratamientos 4, 6, 2 y 1 se encuentran en el grupo superior (a) y los tratamientos 6, 5, 3, 5, 2, 1 en el grupo inferior (b). El tratamiento 4 es el que alcanzó mayor contenido de SST en la cáscara; obteniendo una media de SST_PCF=15,60667±0,1330079 °Brix; y el SST en la pulpa (Figura 6), el tratamiento 6 alcanzó el mayor contenido de SST 9,5933±0,17928 °Brix.

4.1.5 Acidez

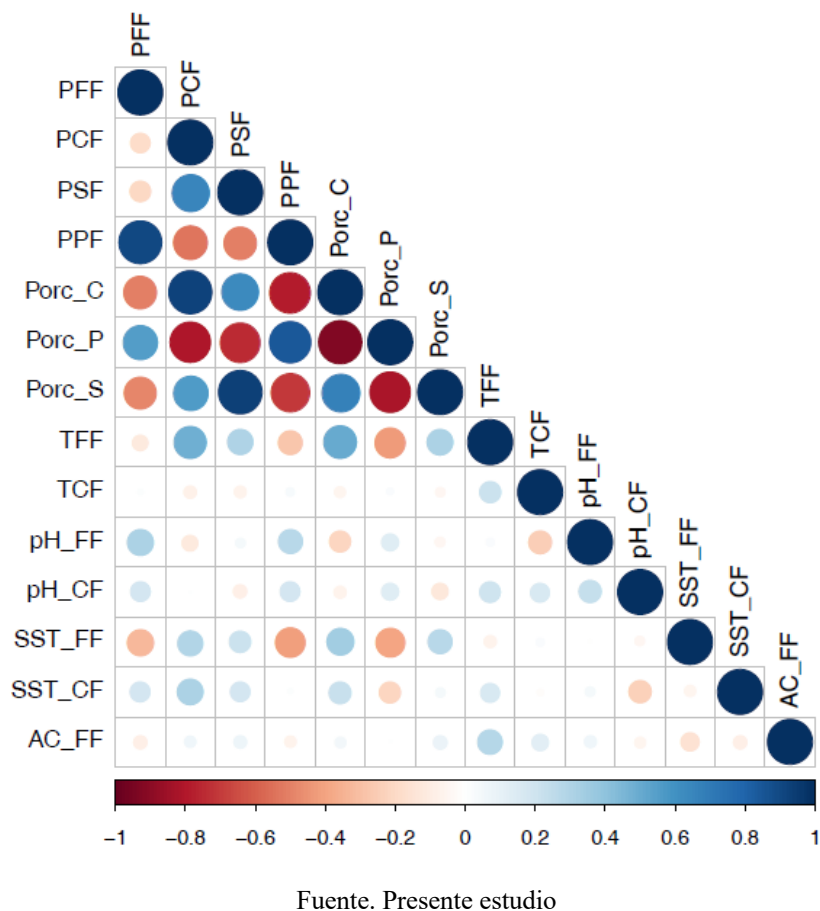
Como se puede observar en la tabla 8, la prueba del rango estudentizado de Tukey, representa diferencias estadísticas significativas entre la acidez de la pulpa y los frutos (P-Value <0,0001). El tratamiento 2 se ubica en el grupo superior (a) alcanzando una media de acidez de AC_PFF=2,92±0,0151% Ácido cítrico.

4.2 Coeficiente de Correlación de las variables fisicoquímicas²

Para poder contar con un indicador que permita, por un lado, establecer la covariación conjunta de dos variables, y por otro, que tenga la universalidad suficiente para poder establecer comparaciones entre distintos casos, se utiliza el coeficiente de correlación lineal de Pearson. La correlación es una medida de covariación conjunta que informa del sentido de esta y de su relevancia, que está acotada y permite la comparación entre distintos casos. El coeficiente de correlación entre dos variables puede definirse como la covarianza existente entre sus dos variables tipificadas.

² Coeficiente de Correlación. <https://www.uv.es/ceaces/base/descriptiva/coefcorre.htm>

Figura 15. Correlograma del análisis de variables fisicoquímicas de lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam.)



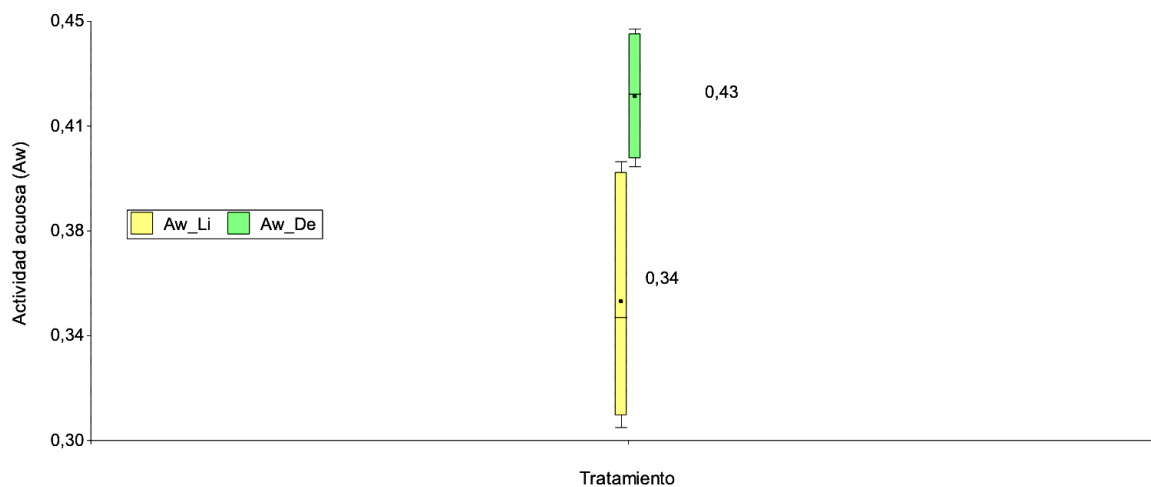
Como se puede observar en la Figura 15, el correlograma del análisis de variables fisicoquímicas del lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam) permite analizar de manera general la correlación de las variables; en donde un primer grupo que se asocia con $r < 0$ es la correlación negativa entre el Porcentaje de la Pulpa Porc_P con respecto al Peso de la cáscara del fruto fresco PCF y semilla del fruto fresco PSF; las tres variables se correlacionan en sentido inverso. A mayor Porc_P; menor es el peso de la cáscara y la semilla. En los casos en los que $r > 0$ como el Porc_S y

el PSF, donde la correlación es positiva, las variables se correlacionan en sentido directo, a mayor peso de la Semilla, mayor será el porcentaje de la semilla en el fruto.

4.3 Actividad Acuosa

La liofilización es un procedimiento de secado cuyo principio es la sublimación del hielo de un producto congelado. Origina productos de mayor calidad ya que al no emplear calor, disminuyen las pérdidas nutricionales y sensoriales. El liofilizador permite extraer más del 72 % de agua, lo cual representa una reducción sustancial en la actividad acuosa y permite la conservación del alimento por más tiempo (Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, 2006). Este principio fue corroborado en el presente estudio, puesto que el rendimiento mayoritario se obtuvo con esta técnica. Como se puede observar en la Figura 16, la actividad acuosa (A_w) por el proceso de liofilización alcanzó una media mucho más favorable para el tratamiento de la cáscara de lulo $A_{w_Li}=0,34$ sobre la actividad acuosa alcanzada por el proceso de deshidratación convencional $A_{w_De}=0,43$; en esta variable fisicoquímica hay diferencias estadísticas; a diferencia del porcentaje de humedad. Esto represente una ventaja tanto técnica como económica puesto que, al alcanzar menor actividad acuosa, las muestras alimenticias aumentan su tiempo de vida útil.

Figura 16. Tratamiento Físico a la cáscara de lulo por Deshidratación Convencional y Liofilización



Fuente. Presente estudio 2019

A continuación, se presenta el test de comparaciones múltiples de medias de Tukey para dos tratamientos desarrollados en el análisis de microencapsulación de compuestos bioactivos de la cáscara del lulo; el proceso de liofilización y deshidratación convencional. Técnicamente se redujo a dos tratamientos porque los procesos de base tecnológica como liofilización no dependen de la localización de los productos a analizar más si de la cantidad involucrada en la transformación.

Tabla 9. Promedio de las variables fisicoquímicas de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

variable	Porcentaje de Humedad [%]					Actividad Acuosa [Aw]				
	n	Media	EE			n	Media	EE		
Trata. 1_Li	2	90,23595247	± 0,3399389	a		2	0,3481667	± 0,0184868	b	
Trata. 2_De	2	90,49783911	± 0,2394111	a		2	0,4256667	± 0,0097968	a	
P-Value					0,1239					0,007

Fuente: presente estudio 2019.

Como se observa en la Tabla 9, los porcentajes de reducción de humedad por el método de liofilización fueron inferiores con respecto a los del tratamiento utilizado en la deshidratación convencional infiriendo que no hay diferencias estadísticas significativa ($P\text{-value} > 0,005$) y alcanzando una media de $90,2360 \pm 0,3399\%$ frente al tratamiento de deshidratación que obtuvo una media de $90,4978 \pm 0,2394\%$, comprobando que en los procesos de congelación, los mecanismos de transferencia de calor y los tiempos de tratamiento sobresalen en la protección de metabolitos secundarios presente en la cáscara. La Actividad acuosa, por el contrario, si presenta diferencias estadísticas significativas en la prueba estudentizada de Tukey ($P\text{-Value} > 0,007$) formando dos grupos, la deshidratación convencional en el rango superior (a) y la liofilización en el inferior(b); concluyendo favorabilidad en la actividad acuosa de los valores más próximos a cero; por tanto, el proceso de liofilización alcanzó resultados óptimos; para el caso que nos ocupa, los compuestos bioactivos a proteger de la sublimación. Los resultados son acordes, puesto que la tecnología más desarrollada, independientemente de los gastos energéticos representará mayor rendimiento.

4.4 Caracterización de Microencapsulados de Lulo de Castilla (*Solanum quitoense* Lam.)

Las Tablas 10 y 11 presentan la caracterización fisicoquímica de los microencapsulados formados mediante la técnica de gelificación con alginato de sodio. Siguiendo con el desarrollo de la metodología, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. *Valores medios de la Caracterización fisicoquímica de Microencapsulados de lulo*

Variable	pH_Mic [pH]				Temperatura Microencapsulados Tep_Mic [°C]			
	n	Media	EE	p	n	Media	EE	p
Tratamiento 1	4	3,02000	± 0,0408248	a	4	21,2000	± 0,2380476	a
Tratamiento 2	4	3,20500	± 0,1358001	b	4	20,3250	± 0,1973787	b
Tratamiento 3	4	3,16250	± 0,0094648	b	4	20,4500	± 0,1707825	a
Tratamiento 4	4	3,17000	± 0,0216025	b	4	20,2000	± 0,0000000	a
Tratamiento 5	4	3,28250	± 0,0428904	b	4	20,6500	± 0,0957427	b
Tratamiento 6	4	3,34500	± 0,0746659	b	4	20,8750	± 0,2528998	ab
Tratamiento 7	4	3,43000	± 0,1769181	b	4	21,0250	± 0,0750000	ab
Tratamiento 8	4	3,30500	± 0,0694622	b	4	20,5500	± 0,1658312	ab
Tratamiento 9	4	3,59250	± 0,1579755	b	4	20,5000	± 0,0000000	ab
P-Value				<0,0001				0,0093

Fuente: presente estudio 2019.

Como se puede observar en la Tabla 10, los parámetros fisicoquímicos de pH y temperatura analizados para los microencapsulados por el test estudentizado de las medias de Tukey representan diferencias estadísticas significativas ($P\text{-Value} < 0,0001$) entre el tratamiento 7 ($\text{pH} = 3,43 \pm 0,1769$) respecto al tratamiento 1 ($\text{pH} = 3,02 \pm 0,0408$), para los demás tratamientos no representa diferencias estadísticas. Para la temperatura ($P\text{-Value} < 0,0093$) hay diferencias significativas entre la formulación 1 ($T = 21,2 \pm 0,238$ °C) y la formulación 4 ($T = 20,2 \pm 0,0$ °C); con respecto a los demás tratamientos no representa diferencia estadística.

La Tabla 11 presenta el test estudentizado de las medias de Tukey para sólidos solubles totales y densidad de los microencapsulados.

Tabla 11. *Valores medios de la Caracterización fisicoquímica de Microencapsulado de lulo*

Variable	Sólidos Solubles Totales Microencapsulados SST_Mic [°Brix]					Densidad Microencapsulados d_Mic [g/cm ³]				
	n	Media	±	EE		n	Media	±	EE	
Tratamiento 1	4	7,825000	±	1,0726719	b	4	1,286925	±	0,066520	a
Tratamiento 2	4	5,175000	±	0,1030776	c	4	1,344700	±	0,018409	a
Tratamiento 3	4	5,550000	±	0,0866025	c	4	1,342100	±	0,018596	a
Tratamiento 4	4	5,775000	±	0,0478714	c	4	1,344375	±	0,0165827	a
Tratamiento 5	4	5,550000	±	0,1500000	c	4	1,348125	±	0,020548	a
Tratamiento 6	4	5,750000	±	0,0866025	c	4	1,339875	±	0,015390	a
Tratamiento 7	4	5,200000	±	0,2915476	c	4	1,326025	±	0,018036	a
Tratamiento 8	4	4,825000	±	0,0250000	c	4	1,311575	±	0,0095655	a
Tratamiento 9	4	5,300000	±	0,2000000	c	4	1,329975	±	0,00830	a
<i>P-Value</i>					<0,0001					<0,0001

Fuente: presente estudio 2019.

La Tabla inmediatamente anterior, muestra los parámetros fisicoquímicos de sólidos suspendidos totales y densidad analizados para los microencapsulados por el test estudentizado de las medias de Tukey alcanzando diferencias estadísticas significativas ($P\text{-Value} < 0,0001$) entre el tratamiento 1 ($SST = 7,825 \pm 1,073^\circ\text{Brix}$) respecto al tratamiento 7 y 8 ($SST = 4,825 \pm 0,0250000$), para los demás tratamientos no representa diferencias estadísticas. Para la densidad ($P\text{-Value} < 0,0001$) hay diferencias significativas entre la formulación 1 ($d = 1,2869 \pm 0,0665 \text{ g/cm}^3$) y la formulación 8 ($d = 1,312 \pm 0,0096 \text{ g/cm}^3$); con los demás tratamientos no representa diferencia estadística. Sin embargo, la consistencia de los microencapsulados representó mejor comportamiento en el tratamiento 6; formado con el 29,80 % alginato de sodio y el 62,88% de pulpa de lulo.

4.5 Marcha Fitoquímica

Un área muy importante en el campo de productos naturales es la determinación de la actividad biológica de las plantas y sus extractos. Muchas plantas son una fuente valiosa de nuevos flavours

y efectivos agentes antisépticos y antioxidantes. Los antioxidantes, según Frei y Risch y Larson, (1994, 1996, 1997 citado en Stashenko, Jaramillo, & Martinez, 2003) de origen natural se usan cada vez con mayor frecuencia no solamente en los alimentos, sino también en diferentes preparados farmacéuticos y cosméticos.

El presente estudio que usó la metodología de Bilbao 1997; (Andersen, Ø. M. and K. R. Markham 2006) para determinar mediante marcha fitoquímica, presencia de metabolitos secundarios; tanto en microencapsulados del lulo como en su cáscara y pulpa, preparados con extractos etanólicos al 98% para determinar cualificación de los compuestos de acuerdo con la intensidad de color y precipitado formado en la muestra, permitió evaluar y corroborar la presencia de Flavonoides, Taninos, Quinonas, Cumarinas y Alcaloides; las cuales se presentan a continuación.

La Tabla 12 presenta la marcha fitoquímica para identificación de metabolitos secundarios del lulo que se analizaron en 22 tratamientos (extractos etanólicos al 98%) para microencapsulados y materias primas (pulpa y cáscara de lulo).

Tabla 12. *Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios*

Metabolitos secundarios	Flavonoides		Taninos		Quinonas		Cumarinas	
	Prueba de Shinoda	Pew's	Gelatina – Sal	Tricloruro Férrico (FeCl ₃)	Reducción Hidro-antraquinonas	Donador de electrones	Hidroxamato férrico	Fluorescencia
Trata. 1	+	-	+	+	++	-	++	++
Trata.2	+	-	+	+	++	-	++	++
Trata.3	+	+	+	+	++	-	+++	++
Trata.4	+	+	+	+	++	-	++	++
Trata.5	+	-	+	+	++	-	+++	++

Trata.6	+	-	+	+	++	-	+++	++
Trata.7	+	-	+	+	++	+	++	++
Trata.8	+	-	+	+	++	+	++	++
Trata.9	+	+	-	+	++	+	++	++
Trata.10	+	+	-	+	++	+	++	++
Trata.11	+	+	+	++	+++	++	+++	++
Trata.12	+	+	+	++	+++	++	+++	++
Trata.13	+	-	+	+	+++	-	++	++
Trata.14	+	-	+	+	+++	-	++	++
Trata.15	++	-	+	++	+++	-	++	++
Trata.16	++	-	+	++	+++	-	++	++
Trata.17	+	-	+	-	++	-	++	++
Trata.18	+	-	+	-	++	-	++	++
Trata.19	+	-	+	+	++	-	+++	++
Trata.20	+	-	+	+	++	-	+++	++
Trata.21	++	+	+	++	+++	+++	++	+
Trata.22	++	+	+	++	+++	+++	++	+

**Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).*

Fuente: presente estudio.

La importancia de las frutas tropicales está en su aporte de sustancias químicas tales como antocianinas, flavonoides, vitamina C, A, E, taninos y ácidos orgánicos (Restrepo, 2009). La especie *Solanum quitoense* Lam., presenta con mayor intensidad contenido de quinonas y cumarinas. Como se puede observar en la Tabla 12, se obtuvo una cantidad abundante de quinonas representadas en (+++). Estas moléculas cíclicas diacetónicas que derivan de la oxidación de los fenoles pueden estar asociadas a múltiples compuestos químicos en esta familia, entre ellas la vitamina K1, ubiquinona, benzoquinonas, plastoquinona y Naftoquinonas, que tienen particularidades funcionales tales como beneficios de pigmentación, actuar como compuestos vitamínicos, actividad antitumoral, antimalárica y antifúngica. Los fenilpropanoides simples como el ácido cafeico, el ferúlico y el clorogénico, y el flavonoide cianidina (antocianina) de

diversas frutas y vegetales, son poderosos antioxidantes capaces de consumir el H_2O_2 y contribuir con el ajuste del estado de óxido-reducción celular desencadenado durante el estrés (Rice-Evans et al., 1997, citado en Sepúlveda, Porta, & Rocha, 2003).

La presencia de estos metabolitos secundarios permite establecer la potencialidad del lulo en cuanto a las sustancias químicas generadas naturalmente para explorar en estudios sucesivos la cuantificación y aportes en la síntesis de productos de origen natural, constatándose en la mayor parte de la presente investigación los beneficios antiinflamatorios, antivirales o antialérgicos y su papel protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y otras patologías.

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos en la marcha fitoquímica para alcaloides, estos compuestos al ser heterocíclicos generalmente se sintetizan a partir de aminoácidos (triptofano, tirosina, fenilalanina, lisina, arginina), entre los principales metabolitos secundarios a analizar en matrices alimentarias tanto para muestras de microencapsulados de lulo; como para la pulpa y la cáscara.

Tabla 13. *Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides en filtrado inicial*

Metabolitos secundarios	Alcaloides Filtrado A1: Fase Acuosa A1						
	Reacción Dragendorff	Reacción Drag. modificada	Reacción Erhlich	Reacción Mayer	Reacción Wagner	Reactivo Hager	Reactivo Bouchardat
Tratamiento 1	-	+	-	-	-	-	-
Tratamiento 2	-	+	-	-	-	-	-
Tratamiento 3	+	+	-	+	-	-	+
Tratamiento 4	+	+	-	+	-	-	+
Tratamiento 5	+	+	-	+	+	-	+
Tratamiento 6	+	+	-	+	+	-	+
Tratamiento 7	+	+	-	+	+	-	+

Tratamiento 8	+	+	-	+	+	-	+
Tratamiento 9	+	+	-	+	+	-	+
Tratamiento 10	+	+	-	+	+	-	+
Tratamiento 11	-	-	-	+	-	-	+
Tratamiento 12	-	-	-	+	-	-	+
Tratamiento 13	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 14	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 15	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 16	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 17	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 18	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 19	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 20	+	+	-	+	+	+	+
Tratamiento 21	+	+	-	-	-	-	-
Tratamiento 22	+	+	-	-	-	-	-

Fuente. Presente estudio

**Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).*

La Tabla 13 corrobora la presencia de alcaloides en el filtrado No. 1 que es el primer preparado de extracto etanólico para validar la presencia de los mismos compuestos. Si bien la evaluación de los analistas de laboratorio representa poca presencia (+) y para los tratamientos 1 y 2 negativo para la Reacción Dragendorff, Reacción de Erlich, Reacción Mayer, Reacción Wagner, Reacción Hager y reactivo Bouchardat; de manera general hay presencia en los 22 tratamientos.

La Tabla 14 muestra los alcaloides identificados como solubles al Cloroformo (CHCl_3) en el filtrado B; en el que como era de esperarse, la familia de los alcaloides no reaccionó, demostrando su inhibición.

Tabla 14. *Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides en CHCl₃ Filtrado B*

Metabolitos secundarios	Alcaloides solubles en CHCl ₃ Filtrado B						
	Reacción Dragendorff	Reacción Drag. modificada	Reacción Erlich	Reacción Mayer	Reacción Wagner	Reactivo Hager	Reactivo Bouchardat
Tratamiento 1	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 2	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 3	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 4	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 5	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 6	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 7	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 8	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 9	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 10	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 11	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 12	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 13	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 14	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 15	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 16	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 17	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 18	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 19	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 20	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 21	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 22	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. Presente estudio

**Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).*

Los resultados relacionan 308 reacciones adicionales que corroboran la presencia de alcaloides en las soluciones acuosas; mas no desencadenan en los filtrados (Anexo I); lo que quiere decir que se hace necesario cuantificarlos para tener con exactitud el involucramiento y su posible efecto en matrices alimentarias; un estudio investigativo que se puede plantear para desarrollo a futuro.

4.6 Vitamina C y Carotenoides

El trabajo permitió identificar la presencia de metabolitos secundarios obtenidos por extracción etanólico de lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam) cultivado en el departamento del Huila Colombia. Entre el aporte que este fruto cítrico garantiza y el que se logró verificar en el presente estudio, está la caracterización y cuantificación de la Vitamina C (Ácido Ascórbico) y Carotenoides.

La vitamina C (ácido ascórbico) es un nutriente esencial de la dieta humana y de otras pocas especies que carecen de la enzima L-glucono-g lactanoa oxidasa, que es la última enzima en la biosíntesis del ácido ascórbico a partir de la glucosa. La deficiencia de esta vitamina está asociada fundamentalmente con la carencia de tejido conectivo. Su principal función de acuerdo con Basabe (2000) es como agente reductor en diferentes reacciones en el metabolismo del colágeno. Su deficiencia se asocia fundamentalmente con una disminución en la síntesis de procolágeno y con una reducida hidroxilación de los residuos prolina y lisina, obteniéndose una molécula menos estable a la temperatura corporal. Razón por la cual, se hacen tan importantes los resultados obtenidos en el que se potencialice las propiedades de estos agentes químicos obtenidos de manera natural. Las determinaciones se llevaron a cabo en espectrofotometría UV Bis, reportando mayores concentraciones en la cáscara de lulo, sobre la pulpa de lulo; pero garantizando su concentración en los microencapsulados analizados.

En el mismo grado de importancia se encuentran los Carotenoides presentes en el lulo; una característica relevante en los colores de los alimentos y quizá el primer atributo a la hora de seleccionar los frutos aleatorios como muestra de calidad y condicionar su aceptabilidad.

Aproximadamente un 10% de los carotenoides tienen un anillo tipo β no sustituido como parte de la configuración, estructural, siendo β -caroteno y β -criptoxanteno, los más representativos. La única fuente de estos precursores de retinol es la dieta, y en la mayoría de los casos son las frutas y vegetales los alimentos que principalmente aportan carotenoides con actividad de provitamina a nuestra ingesta (AGROCSIC, 2005)

La Tabla 15 presenta el promedio de las variables de caracterización fitoquímica de Vitamina C y Carotenoides, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$); para los once (11) tratamientos, corroborándose para el tratamiento 11 que corresponde a la cáscara de lulo, una media de $Vit_C = 0,2702214 \pm 0,01728700$ mg/g, siendo la más representativa, sobre el tratamiento 6 con una media de $Vit_C = 0,1568834 \pm 0,00696020$ mg/g, que corresponde a un microencapsulado de lulo obtenido con una matriz de alginato de sodio en un 30% y pulpa de lulo en una 63% y que reincorpora la cáscara en su formulación.

Los resultados para Carotenoides en el lulo, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$); para los once (11) tratamientos, con concentraciones superiores a la vitamina C, donde el tratamiento 11, que corresponde a la cascara de lulo, obtuvo una media de $Car = 0,44947500 \pm 0,031948100$ mg/g. El tratamiento 10 que corresponde a la pulpa del lulo presentó una media de $Car = 0,17959950 \pm 0,000251895$ mg/g en la misma proporción que para los microencapsulados, siendo el tratamiento 6 el más significativo con una media de $Car = 0,17446290 \pm 0,003521600$ mg/g.

Tabla 15. Promedio de las variables para caracterización de Vitamina C y Carotenoides

Variable	Vitamina C Vit C[mg/g]					Carotenoides Car [mg/g]				
	n	Media	EE			n	Media	EE		
Tratamiento 1	2	0,136148	± 0,0026385	c		2	0,1773017	± 0,00271060	b	
Tratamiento 2	2	0,143659	± 0,00069602	c		2	0,15489190	± 0,002527700	b	
Tratamiento 3	2	0,119994	± 0,00208810	c		2	0,15017550	± 0,000185695	b	
Tratamiento 4	2	0,131595	± 0,00739870	c		2	0,14827550	± 0,000851925	b	
Tratamiento 5	2	0,142204	± 0,00323560	bc		2	0,15674580	± 0,000745395	b	
Tratamiento 6	2	0,1568834	± 0,00696020	bc		2	0,17446290	± 0,003521600	b	
Tratamiento 7	2	0,1517927	± 0,00031962	bc		2	0,16994140	± 0,000199770	b	
Tratamiento 8	2	0,1480710	± 0,00280310	bc		2	0,17438220	± 0,004967000	b	
Tratamiento 9	2	0,1446730	± 0,00620140	bc		2	0,17198320	± 0,002091100	b	
Tratamiento 10	2	0,1819402	± 0,00556820	b		2	0,17959950	± 0,000251895	b	
Tratamiento 11	2	0,2702214	± 0,01728700	a		2	0,44947500	± 0,031948100	a	
<i>P-Value</i>					<0,0001					<0,0001

Fuente. Presente estudio 2019

Como era de esperarse, el lulo representa para el departamento del Huila no solo un fruto de importancia en la economía de la región, sino que además se reafirman sus bondades en cuanto a contenido, sugiriendo que en el departamento del Huila se cultivan frutos de excelente calidad, panorama que podría ser fortalecido si se potencializa la transformación agregando valor para resaltar los componentes benéficos para la salud como la familia de los carotenoides precursores de vitamina A así como también la Vitamina C, sintetizada de forma natural que al prolongar su tiempo de vida útil se convierte en una excelente fuente de aprovechamiento teniendo en cuenta que un fruto a menos de estar en condiciones de refrigeración una vez alcanzado su grado de madurez no logra conservarse fácilmente.

4.7 Presentación de Microencapsulado de Lulo

El desarrollo de la metodología para el presente estudio tuvo como resultado la caracterización fisicoquímica del lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam.), cosechado en 4 municipios del

departamento del Huila, que a través de su transformación se obtienen unos microencapsulados que además de reincorporar residuos agroindustriales del fruto, forma una matriz compatible para encapsular metabolitos secundarios sintetizados naturalmente, así, esta propuesta garantiza aporte en vitaminas y compuestos antioxidantes como los carotenoides con aplicabilidad en la industria alimentaria.

La Figura 17, muestra el proceso inicial de la recepción de la materia prima (lulo de castilla), en la Planta de Agroindustria en Tecnoparque nodo Pitalito del SENA Regional Huila.

Figura 17. Recepción de materia prima Finca 1



Presente estudio 2019.

Los frutos se sometieron a procesos de limpieza y desinfección, teniendo en cuenta los controles sensoriales a los mismos; para luego someterlos a caracterización fisicoquímica, fruta a fruta.

En la Figura 18 se puede observar uno de los procesos de base tecnológica a que fue sometida la cáscara del lulo, que puede llegar a tener gran funcionalidad por las características encontradas como lo es el proceso de deshidratación convencional.

Figura 18. Proceso de Deshidratación Convencional para la cáscara



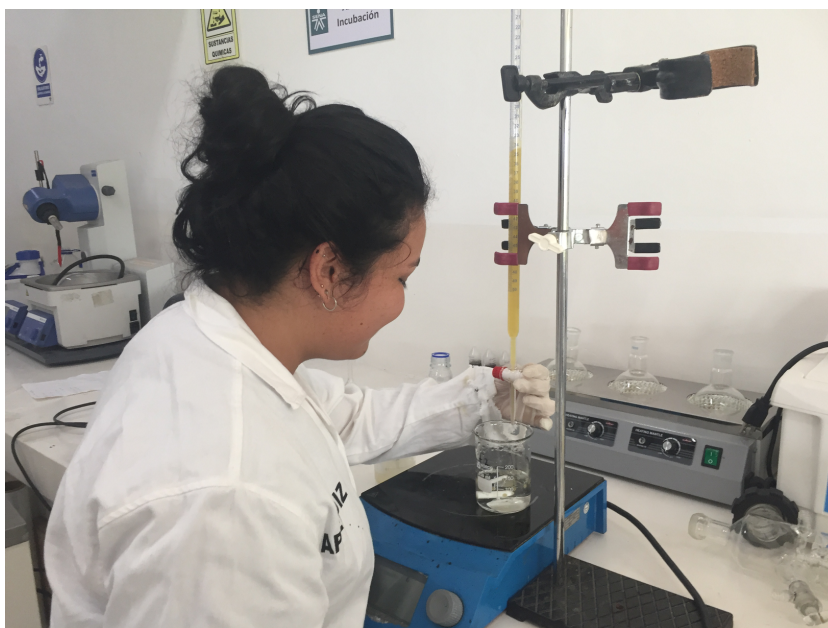
Presente estudio 2019

El proceso de deshidratación convencional (Figura 18), es una técnica de secado ampliamente usada por su fácil acceso, sin embargo, el rendimiento que se alcanza por este método es menor en comparación con otras técnicas, como por ejemplo la liofilización.

Una vez adecuadas y caracterizadas las materias primas que se usaron para la preparación de las soluciones a microencapsular, de acuerdo con los tratamientos propuestos para el proceso de microencapsulación (metodología del presente estudio), se realiza por titulación el reagrupamiento estructural del lulo con una fuente de ión calcio externa (Figura 19) que permita la formación de

microcapsulas de acuerdo con Lupo et al (2012), con el objeto de asegurar la biodisponibilidad de los compuestos, su funcionalidad e incluso su fácil incorporación en los alimentos sin la alteración de sus propiedades sensoriales .

Figura 19. Proceso de Gelificación iónica de lulo con alginato de sodio



Fuente. Presente estudio 2019

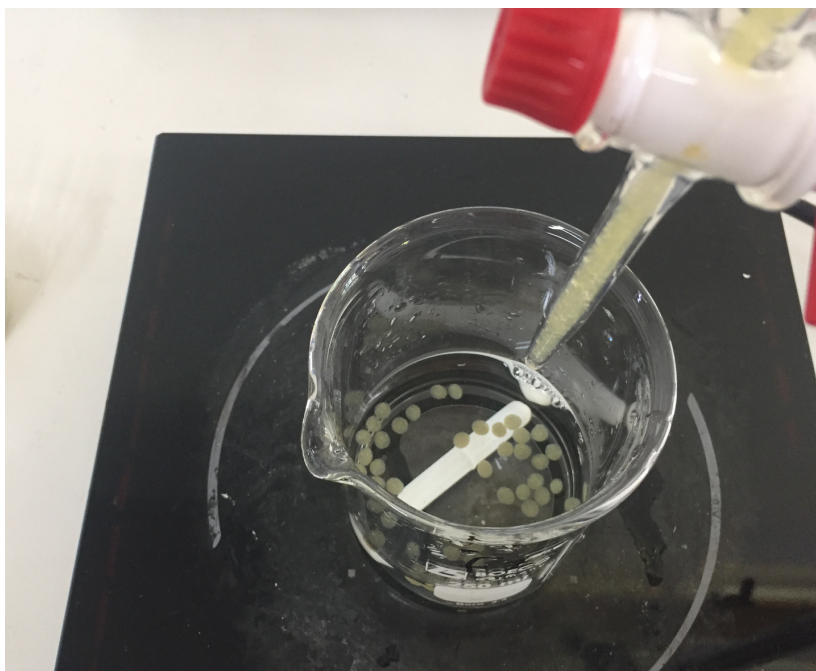
De acuerdo con Lupo et al, (2012), el alginato es un hidrocólide que posee características como propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, razones por las cuales ha sido de gran interés para la industria alimentaria; este polisacárido lineal poliónico e hidrofílico es la matriz biocompatible que luego de observar con nueve (9) tratamientos, aseguró consistencia y calidad en el producto final.

Para garantizar el proceso de microencapsulación teniendo en cuenta lo sugerido por Fang y Bhandari (2010), la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto y la liberación gradual

del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido puede lograrse a través de las microcápsulas.

La Figura 20, muestra la formación de las microcápsulas de lulo en una fuente de cloruro de calcio CaCl_2 .

Figura 20. Formación de Microencapsulados de lulo



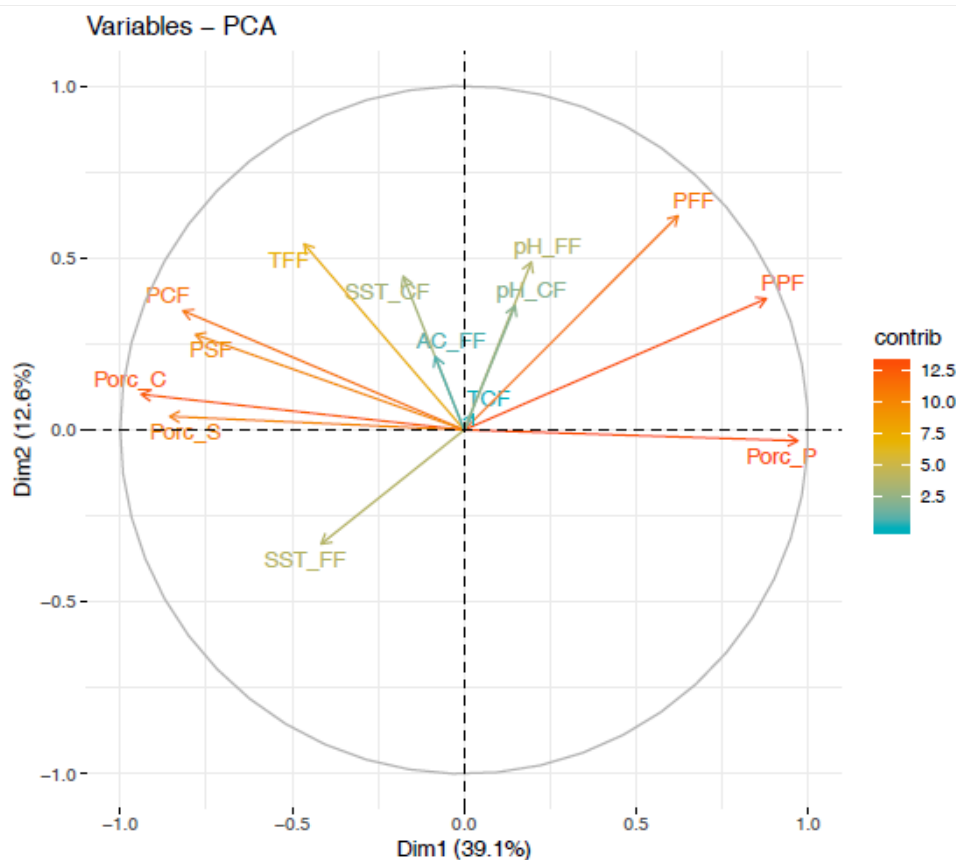
Fuente. Presente estudio 2019

Finalmente, la propuesta bioprospectiva en industria alimentaria a través de la transformación del lulo mediante gelificación por alginato de sodio con fines comerciales, cuenta con la evaluación de su funcionalidad, presentándose como un producto de base tecnológica para dar valor agregado a la cadena productiva del lulo en el sur del Huila; una propuesta para el desarrollo sostenible.

4.7.1 Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas

A continuación, se presenta el análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas analizadas para los frutos de lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam.), en el plano del biplot un PCA (Figura 21).

Figura 21. Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas del lulo de castilla con relación a las condiciones de su cultivo



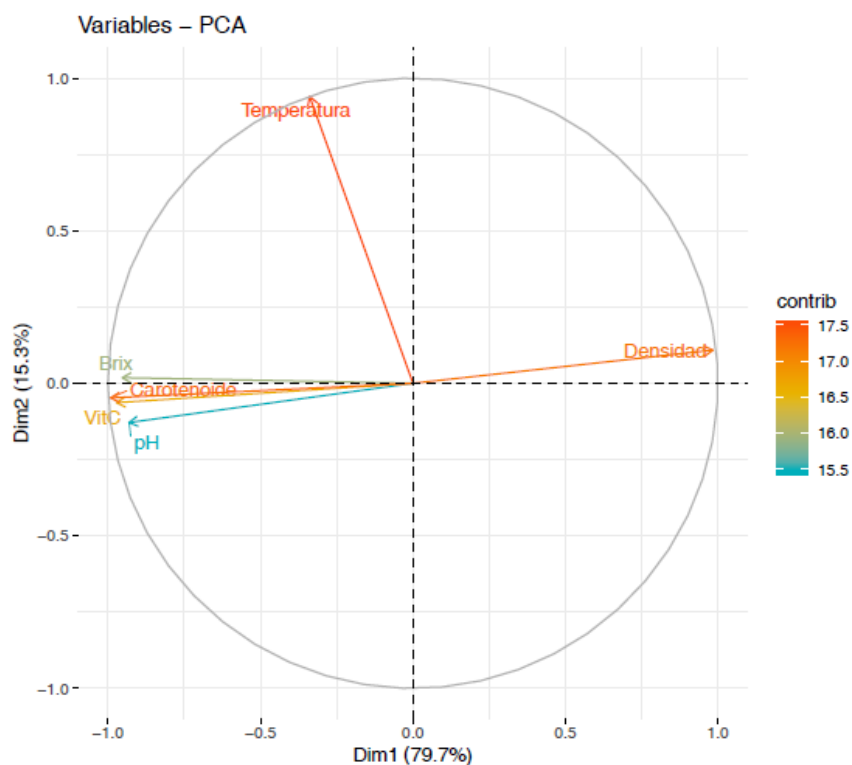
Fuente. Presente estudio 2019.

Esta Figura muestra el análisis de componentes principales (ACP), explica el 51,7% en los dos primeros ejes, la mayoría de las variables están correlacionadas positivamente entre ellas. La

superposición de las representaciones gráficas de las variables físicas y químicas analizadas en el estudio, da una visión más completa, sugiriendo que los pesos de los frutos atribuidos particularmente a características propias de cada región son las responsables de la proximidad entre ellos, observando para este que los pesos de los frutos, se sitúan cerca de las condiciones de temperatura, pH, sólidos solubles totales, variables encontradas en un rango de normalidad.

Como parte del análisis de la presentación del microencapsulado del lulo, la Figura 22 permite observar el Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas del lulo de castilla con relación a metabolitos secundarios.

Figura 22. Análisis de Componentes Principales en el plano del biplot para variables fisicoquímicas del lulo de castilla con relación a metabolitos secundarios



Fuente. Presente estudio 2019

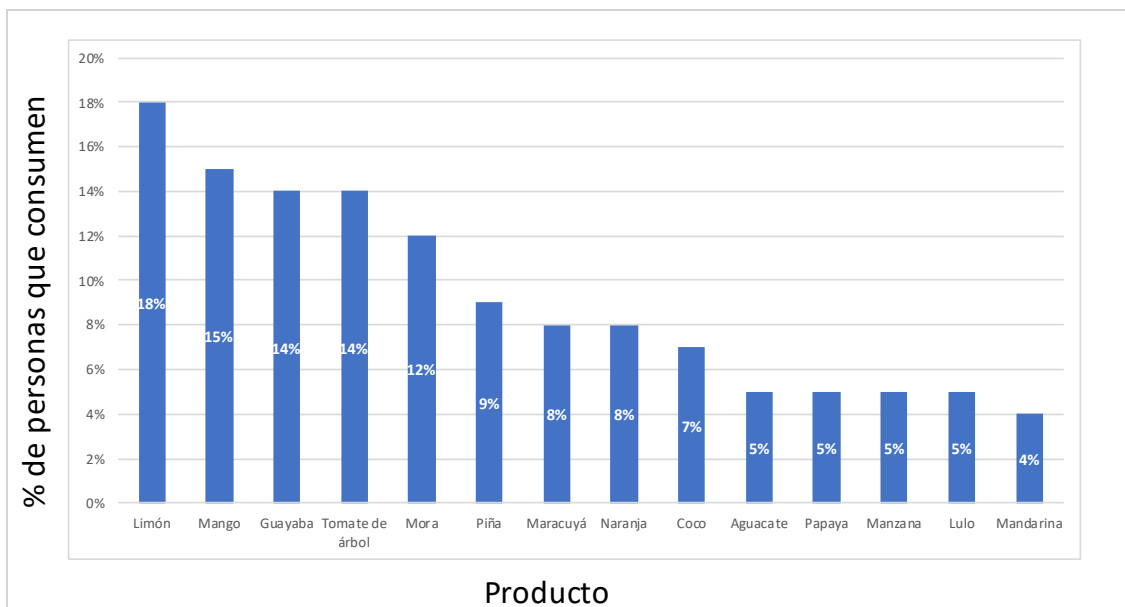
Finalmente se puede concluir gracias a la Figura 22, con el Análisis de Componentes principales (PCA) en el plano de biplot para las variables fisicoquímicas analizadas como sólidos suspendidos totales (°Brix) y pH, representan el 79,7% en los tres primeros ejes, donde se correlacionan directamente con las variables como vitamina C y Carotenoides. La variable como densidad tiene una tendencia diferencial a la cantidad de Vitamina C.

4.8 Estudio de Pre-Factibilidad

4.8.1 Análisis de la Demanda

La demanda definida por Mankiw (2012) como la cantidad de un bien que los compradores están dispuestos a adquirir, es el factor a estudiar para interpretar como son los gustos o preferencias de los compradores teniendo en cuenta el precio de bienes similares, expectativas y número de compradores. A continuación, se presenta la Figura 23 que indica el porcentaje de la población que consume frutas en Colombia lo que permite analizar la participación que el lulo representa con un porcentaje del 5%, cifra que es muy importante si se tiene en cuenta que el precio es accesible básicamente para habitantes en condiciones de vida de estratos 3, 4 y 5.

Figura 23. Principales frutas que consumen los colombianos.



Fuente: Perfil nacional de consumo de frutas y verduras (2012) FAO y Ministerio de Salud y Protección Social

El perfil nacional de consumo de frutas y verduras es un factor importante para interpretar el comportamiento de los consumidores, en la Figura 23 se puede observar la importancia para el país y para la seguridad alimentaria, la especial atención e inclinación que se tiene por la producción de lulo, ya que es un producto muy bien demandado tanto a nivel nacional como internacional y está dentro de la preferencia de consumo de los colombianos, lo que permite analizar la receptividad que la oferta podría presentar por el desarrollo de estos productos.

El estudio de prefactibilidad, tiene en cuenta la demanda que se estima con base en la producción bruta con datos del año 2016 de 78.610 toneladas de fruta (Agronet, 2018), más las importaciones, que para el mismo año fueron de 8.200 toneladas años, menos las exportaciones con una cifra de 27.877 toneladas (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2019). Las importaciones se

calcularon con base en las estimaciones investigadas por el diario el Mundo donde afirma que Colombia importa el equivalente a casi mil (1000) hectáreas de lulo del Ecuador. Colombia no se autoabastece y el producto ecuatoriano no reúne los requisitos de calidad para una pulpa reportando algunos residuos de pesticidas (El Mundo, 2016). Para el caso específico Colombia se tiene un rendimiento promedio de 8.2 toneladas por hectárea (Agronet, 2018), lo que indica que el nivel de importación se encuentra alrededor de 8.200 toneladas año. Por tanto la demanda nacional resultante está alrededor de 58.933 toneladas por año.

4.8.2 Consumo aparente

El desarrollo de la metodología de Consumo Aparente constituyó una forma rápida y con menos intromisión en los hogares para conocer su consumo. Esta metodología permitió proporcionar información válida para conocer los hábitos de consumo de alimentos a nivel de los hogares, sin recurrir a encuestas complejas; demostrando la aplicabilidad para personal no especializado en este tipo de estudios; y así de manera efectiva lograr establecer y estimar el consumo promedio familiar de alimentos. De acuerdo con el INCAP (2019), estas encuestas son prácticas y participan de manera complementaria a la hora de estudiar un consumo real, porque da información sobre un periodo más amplio y el costo de la alimentación a nivel local.

El cálculo del consumo aparente para el lulo en Colombia se resume de la siguiente manera:

$$CA = PB + M - X$$

Donde:

CA=consumo aparente

PB= producción bruta

M= importaciones

X= exportaciones

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

$$CA = 78610 + 8200 - 27877$$

$$CA = 58933 \text{ toneladas/año}$$

Para Colombia se tiene que el consumo de lulo al año es de 58.933 toneladas, las cuales son utilizadas principalmente a nivel de hogares.

La siguiente Tabla presenta un resumen de las exportaciones de lulo desde año 2013 a 2016, destacando como principal demandante de la fruta del Lulo, Francia.

Tabla 16. *Destinos de exportación de lulo colombiano en términos de cantidad*

DESTINO	2013	2014	2015	2016
Exportación (Kg)	36.516	34.430	53.482	27.877
España	4.226	4.450	8.101	9.241
Panamá	8.756	5.268	1.961	6.710
Curazao			69	3.689
Aruba	3.510	1.739	1.402	3.274
Francia	15.199	13.084	12.702	2.132
Estados Unidos	478	4.682	1.517	1.202
Alemania	242	549	760	548
Reino Unido	273	548	1.239	497
Países bajos – Holanda	55	50	476	289
Suiza	363	100	240	105

Brasil	125	655	302	88
Italia	78	263	537	26
Portugal	168		40	24
Canadá	29	22	59	16
Bahrain			55	13
Kwait				13
Hong Kong	15			6
Irlanda Eire				3
Emiratos Arabes		10	15	3
República Checa				2
Antillas	2.454	2660		
Holandesas				
Arabia Saudita	25			
Bélgica	12			
China	7			
México			24.000	
Qatar		3		
Rusia	503	348	8	
TOTAL	36.516	34.430	53.482	27.877

Fuente: Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2019

Como se puede apreciar en la tabla 16, la demanda mundial del lulo es inestable, en gran parte por las exigencias de los países hacia productos orgánicos, que, para el caso específico del lulo, no se reportan, por el contrario, es una fruta que demanda gran cantidad de agroquímicos a lo largo del proceso productivo. Si bien es cierto que Francia bajó considerablemente la demanda de lulo colombiano, países como Curazao y España, han venido incrementando continuamente el interés por este producto.

4.9 Delimitación y descripción del mercado

El mercado del lulo es muy amplio y su producción total en Colombia no es suficiente para suplir la demanda nacional, lo que implica importarlo del Ecuador. Según Arias (2014), la demanda de lulo a nivel mundial se ha ido incrementando en proporción al número de latinos que emigran. Sin embargo, Chong y Andrade (2001) atribuyen la baja dinámica de exportación a la falta del conocimiento del fruto y la escasa difusión y publicidad del producto, es decir, a la falta de mercadeo.

La ingesta de frutas y verduras es un asunto complejo que involucra el análisis de múltiples factores, uno de ellos es el cambio alimentario, que en las últimas décadas se ha producido principalmente en entornos urbanos, pero que no es ajeno a los rurales, y que ha alterado cambios en los estilos de vida y los hábitos alimentarios de las personas. Los principales factores de acuerdo con el Ministerio de Salud colombiano (2013) que influyen en estos nuevos patrones de consumo son: los ingresos, los precios de los alimentos, los cambios socio-demográficos, la incorporación de servicios en la alimentación (componente terciario), la publicidad, las preferencias individuales y las creencias, las tradiciones culturales, así como factores geográficos y ambientales.

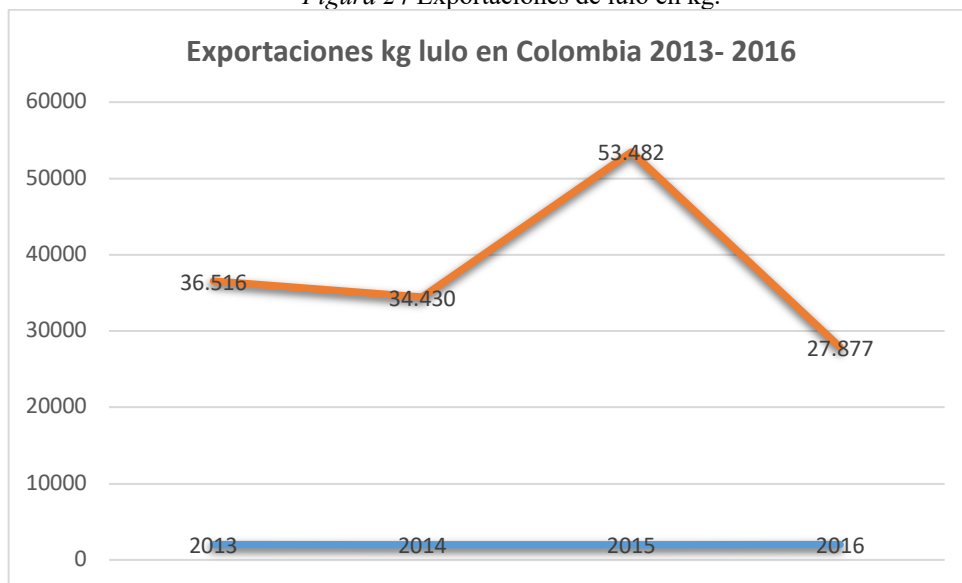
El mercado internacional de frutas y verduras presenta siete tendencias de exigencia de los consumidores, teniendo en cuenta los reportes por MinSalud (2013) : 1) productos naturales, 2) productos 100% orgánicos, 3) diferenciación en empaques y presentaciones, 4) aporte nutricional, 5) trazabilidad, 6) certificaciones, y 7) requisitos de los compradores: sociales (horas trabajadas, edad mínima de los trabajadores de las empresas agrícolas), medioambientales (uso adecuado de

sustancias peligrosas como agroquímicos, manejo responsable de residuos, polución) y de seguridad para los consumidores.

4.9.1 Comportamiento de la Demanda

La tendencia de la demanda por el lulo se ha mantenido en los últimos años con una baja considerable en las exportaciones, comprendido entre los años 2015 a 2016 (Figura 24) de casi el 50%, siendo el 2015 un año atípico por el aumento sustancial de las exportaciones a México de 24 toneladas, además de ser el único año en el que se realizó esta transacción. Sin embargo, sí se compara con los años 2013 y 2014, aún son mucho mejores en exportaciones que el 2016.

Figura 24 Exportaciones de lulo en kg.



Fuente. (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2019)

Como se puede notar en la Figura 24, la demanda del lulo a nivel internacional tiene un nivel decreciente en parte debido a que Francia que venía con un comportamiento constante en su consumo, para el año 2016 redujo notablemente las importaciones de la fruta.

En cuanto a la demanda departamental actualmente el Huila produce 14.339 toneladas para abastecer la demanda local de 4.208 toneladas e intervenir en la demanda Nacional de las industrias, la exportación y demás consumidores. El lulo se produce en todos los municipios del Huila, pero los centros de mayor concentración para la comercialización se encuentran en la Zonas Centro y Sur del Departamento, en los municipios de Garzón y Saladoblanco respectivamente.

La demanda del mercado del lulo a nivel nacional es suficiente para cubrir toda la oferta, y aún queda faltando cubrir ciertas partes de ésta, que como ya se mencionó se debe equilibrar o suplir con importaciones desde el Ecuador. Análisis que permite concluir que en cuanto aumenten las exportaciones del producto, así mismo aumentarán las importaciones desde el país vecino.

4.9.2 Análisis de precios

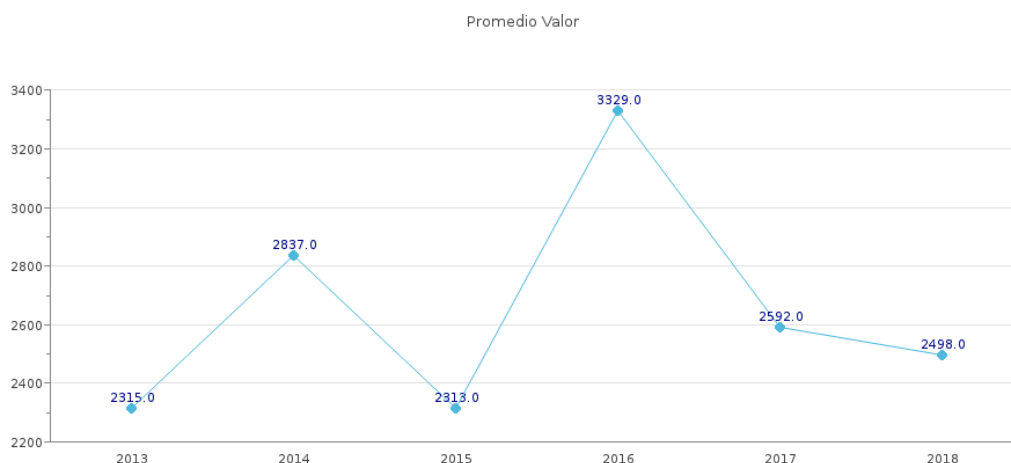
En la formación de precio se establecen variables como el tamaño y calidad de la fruta, modelo de producción, diferenciadores y el proceso de comercialización centralizada dónde media un alto nivel de intermediación (Arias R. &., 2014).

La producción de lulo en Colombia de acuerdo con Agronet (2014), ha presentado un comportamiento al alza desde al año 1992 cuando se producían alrededor de 25 mil toneladas/año, llegando a una cifra estimada de 69 mil toneladas/año para 2013; yendo en línea con un comportamiento creciente en la evolución del precio en el mercado; debido al aumento de la demanda interna y el hecho que la producción aún es deficitaria, haciendo que Colombia deba importar el 20% de lo que consume (Merino, 2014). Sin embargo, los promedios de precios en los últimos 5 años han sido fluctuantes, por variables climáticas y geográficas, lo que hace que dependiendo de la región el promedio se afecte notablemente, sin embargo, en los últimos dos

años el precio se ha mantenido a la baja, pero, aun así, es una fruta que normalmente no consumen los estratos 1 y 2, precisamente por el precio de mercado.

La siguiente Figura, ilustra el comportamiento de los precios del lulo en Colombia en los últimos 5 años.

Figura 25. Precio promedio anual del lulo en Colombia.

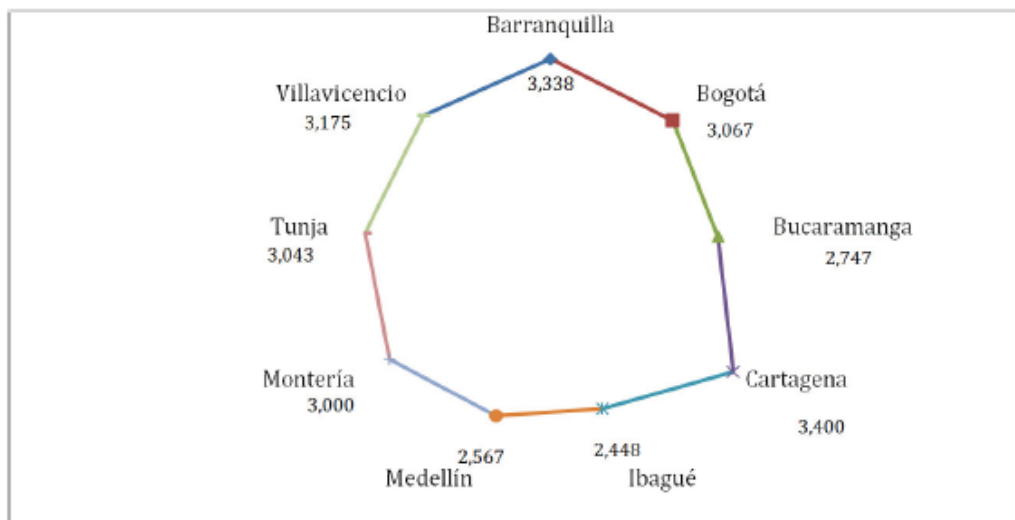


Fuente: <https://www.corabastos.com.co/sitio/historicoApp2/reportes/prueba.php>

De acuerdo con la figura 25, el lulo en Colombia se podría considera exótico si se analiza desde el punto de vista del precio, ya que, en promedio en los últimos cinco años, este no ha estado por debajo de los \$2.300 pesos/kilogramo, llegando incluso a superar los \$3.000 pesos/kilogramo, en algunas ocasiones. De allí que se considere que no es accesible para los estratos 1 y 2, que prefieren los productos de cosecha.

La siguiente figura ilustra como el precio del lulo tiene un valor proporcional dependiendo de la distancia de los sitios de producción.

Figura 26. Precio de lulo en diferentes mercados a 31 de enero de 2014.



Fuente. Journal of agriculture and animal sciences

La Figura 26 muestra cómo influyen los costos de logística de transporte en el precio final del lulo, pero a pesar de ello, la producción total del lulo tiene garantizada su compra en los diferentes mercados. La demanda de lulo aumenta cuando el precio tiende a la baja y disminuye cuando sube, es decir, tiene una demanda elástica.

4.9.3 Comercialización del producto

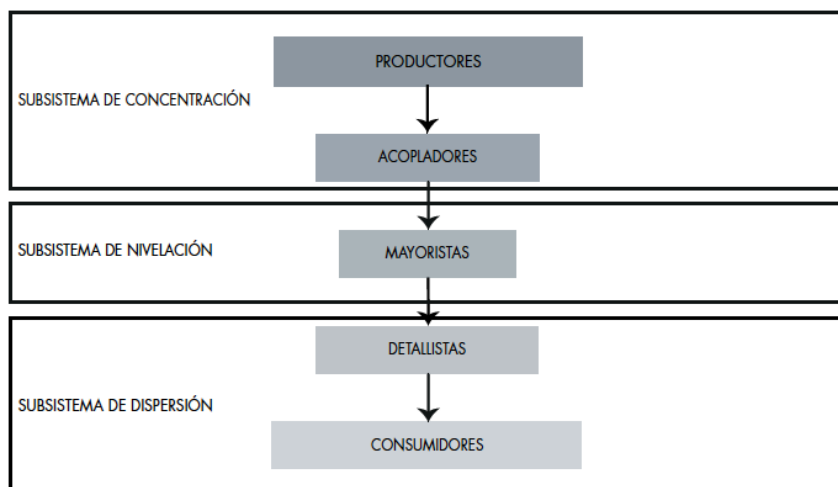
El abastecimiento de frutas y verduras y de los alimentos en general está constituido por el volumen total de alimentos que ingresan al circuito económico de estudio (país, ciudad, región, localidad) para atender la demanda de los consumidores, la cual se suple con la oferta local y las importaciones que provienen de otras regiones del país y de otros países. La oferta de alimentos es la primera etapa en un análisis de consumo, de acuerdo con MinSalud (2013), esta provee el

flujo de materia inicial dentro de los circuitos económicos y de los Sistemas de Abastecimiento y Distribución.

Este modelo encaja perfectamente en la comercialización del lulo en el departamento del Huila y en general a nivel país, aunque se ha ido notando un cambio para eliminar intermediarios y llegar directamente donde el productor para luego el producto al consumidor final. Por ejemplo, se puede notar que el consumidor se puede dirigir a las centrales de abastos para comprar el lulo, ofertado por mayoristas, quienes establecen el precio de venta tomando en cuenta los de la competencia. También los proveedores que distribuyen el lulo ya empacado en las superficies o supermercados y otro grupo que son los productores que comercializan el lulo a industrias que se dedican a la elaboración de productos a base de la fruta.

La siguiente Figura se presenta el modelo de comercialización de la fruta del lulo en la mayoría de los municipios del país.

Figura 27. Modelo de comercialización tipo “reloj de arena”



Fuente: Perfil nacional del consumo de frutas y verduras.

La figura anterior explica como a manera de “reloj de arena” el producto se desplaza desde los productores hasta los consumidores finales, es así como cualquier producto nuevo que entre al mercado cuya materia prima principal sea el lulo, entraría a crear más desbalance entre la oferta y demanda, dejando desproveer el mercado nacional y produciendo eventuales aumentos de precios, ya que la elasticidad del precio de la demanda del lulo es negativa.

Conclusiones

- El análisis de la caracterización fisicoquímica del lulo de castilla (*Solanum quitoense* Lam.) obtenidos en el marco del desarrollo del proyecto, de acuerdo con el rango estudentizado de Tukey (KSD) ($P\text{-Value} < 0,005$), permitió establecer diferencias estadísticas significativas entre fincas como el peso del fruto fresco (Trat 4: $172,3200 \pm 5,9249698g$), más al interior de ellas, es decir, factor repetición frutos, los promedios de las variables fisicoquímicas por estandarización de Tukey no representaron diferencias estadísticas ($P\text{-Value} > 0,005$), es el caso del pH de la cáscara del fruto fresco (Trat 4: $pH\ 3,8533 \pm 0,0142984$) lo que permite inferir resultados homogéneos principalmente en parámetros como temperatura, pH, Sólidos Suspendidos Totales, Densidad. Estos resultados pueden entenderse por el hecho de que los principales factores ambientales en cada municipio, afectan el desempeño productivo del lulo con efecto directo para determinar la calidad y tamaño del fruto; siendo entonces la finca 4 (Pitalito), la que mejor alcanzó resultados esperando máximo rendimiento productivo.
- La técnica seleccionada para microencapsulación con alginato de sodio, permitió desarrollar a partir de lulo y su cáscara un producto biocompatible, no tóxico y degradable que garantizó la protección de metabolitos secundarios relacionados directamente con actividades funcionales de gran importancia para la salud humana entre otros sectores. La caracterización fisicoquímica que se realizó a los microencapsulados fueron sometidos al test estudentizado de medias de Tukey presentando diferencias estadísticas significativas ($P\text{-Value} < 0,0001$) entre el tratamiento 1 ($SST = 7,825 \pm 1,073^\circ\text{Brix}$) respecto al tratamiento 7

y 8 ($SST=4,825\pm0,0250$), para los demás, no representa diferencias estadísticas. De igual manera se pudo definir que la marcha fitoquímica fue homogénea en todos los ensayos que se analizaron, lo que indica que, aunque pueda cambiar la cantidad de metabolitos de una finca a otra, no cambia el perfil de compuestos; y cuya tendencia es ser usados con potencial uso en diferentes procesos.

- El mercado colombiano y mundial del lulo es un mercado de rápido crecimiento, donde la oferta del país no alcanza a suplir dicha demanda y por lo tanto se debe garantizar a través de importaciones. Para poder hacer frente a la demanda nacional como internacional, los cultivadores de lulo, sobre todo en el departamento del Huila, deben tecnificar la producción y moverse hacia cultivos orgánicos cumpliendo así dos objetivos: primero, aumentar el rendimiento por hectárea y segundo, produciendo un producto libre de agroquímicos para poder tener más acceso a mercados internacionales donde el precio juega un papel a favor del productor. Al tener un producto libre de agroquímicos, se permitiría utilizar los desechos agroindustriales como la cáscara para la elaboración de microencapsulados para la industria alimenticia como materia prima o para el usuario final a manera de complemento alimenticio, permitiendo así ampliar los márgenes de rentabilidad de los productores y comercializadores del Lulo a nivel regional y nacional.
- Con los productores del departamento del Huila, se logró la socialización y capacitación de los resultados del proyecto encaminado a la sostenibilidad agroindustrial del sector productivo de lulo, donde a través de infraestructura tecnológica, se puede lograr mejorar los cultivos usando menos agroquímicos para así reincorporar a la cadena productiva un subproducto (cáscara) que no estaba generando valor agregado, con lo cual dinamizaría la

economía de la región; dando a conocer la necesidad de ser pioneros en inversiones que a largo plazo puedan convertirse en tendencia mundial en sostenibilidad e innovación.

- La liofilización como un procedimiento de secado optimo al usar como principio la sublimación del hielo de un producto congelado y no emplear calor, origina productos de mayor calidad disminuyendo pérdidas nutricionales y sensoriales. Es así, como se utilizó esta técnica para transformar la cáscara del lulo, un subproducto agrícola de gran interés. De acuerdo con la prueba del rango estudentizado de Tukey, los valores medios del porcentaje de humedad por liofilización no representaron diferencias estadísticas significativa ($P\text{-value} > 0,005$) ($90,2360 \pm 0,3399\%$) frente al tratamiento por deshidratación convencional ($90,4978 \pm 0,2394\%$); más sí representó diferencias estadísticas la Actividad Acuosa por liofilización ($A_w = 0,3481667 \pm 0,018487$), con respecto a la A_w del proceso por deshidratación ($A_w = 0,4256667 \pm 0,0097968$), demostrando que los procesos de base tecnológica directamente están relacionados con el rendimiento de los procesos, por lo tanto se seleccionó como tratamiento eficiente; la liofilización.

Recomendaciones

Es importante continuar con la línea de investigación de la caracterización fisicoquímica del lulo que abarque inicialmente más municipios del Departamento del Huila, que incluya el análisis de proceso fotosintético en frutos para abordar la perspectiva de la calidad en procesos de poscosecha.

La caracterización y cuantificación de metabolitos secundarios se debe especificar para las matrices de los frutos como la de encapsulados mediante técnicas de cromatografía de gases masas y caracterización estructural de los microencapsulados a través de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

El potencial que presenta la cáscara de lulo, es muy importante para establecer rutas de potencialización en su uso tanto a nivel de industria cosmética como alimentaria, sin embargo, para poder dar estos usos, se hace necesario establecer investigaciones que permitan sentar las bases de los cultivos orgánicos para no tener índices de contaminación por químicos.

Se hace necesario un diseño experimental que permita el cultivo de lulo orgánico; puesto que las incidencias por ser un cultivo de alto uso en agroquímicos se asocian a él afectaciones ambientales y ecológicas. Sin embargo, el lulo es un fruto que hace parte de la línea económica y productiva del país, por lo tanto, requiere a partir de la academia explorar rendimientos de productos como insumos ecológicos para su control de plagas.

Es importante adoptar métodos científicos estandarizados en la producción del lulo en el departamento del Huila, de tal forma que pueda mejorar la productividad promedio de 8 toneladas

hectárea por menos su incremento a 16 toneladas, ya que cualquier otro uso del lulo diferentes a los actuales, desabastecería el mercado y podría traer alzas en precios.

Referencias

- AGROCSIC. (2005). *Pigmentos carotenoides*. Sevilla: Departamento de biotecnología de alimentos. Instituto de la grasa (CSIC).
- Agronet. (2014). *Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Agronet. (2018). *Ministerio de Agricultura*. Estadísticas Agronet: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alcaldía de Pitalito. (2015). *Plan de Desarrollo Municipio de Pitalito 2016-2019 'Somos Pitalito Territorio Ideal'*. Pitalito.
- Arias, M. L. (2007). Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*solanum quitoense* lam.) y especies relacionadas de la sección lasiocarpa. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín Vol.60,No.2.*, p.3939-3964.
- Arias, R. &. (2014). Exofruit S.A.S: “Una apuesta agro empresarial para el trabajo con víctimas del conflicto armado de la vereda Mesopotamia del Municipio de la Unión Antioquia. . (Ponencia): *Memorias USTAMED 2014.* . Medellín. .
- Arias, F, e. a. (2014). Inteligencia de mercados para la cadena del lulo (*Solanum quitoense*). *Journal Agriculture and animal sciencies*.
- Ávalos, G. A., & Pérez, U. E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. *Serie Fisiología Vegetal*, 2(3), , 119-145.
- Avendaño, G., López, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1)., 87-96.

-
- Aznar, M. P., Piñero, A., & Martínez, A. (2014). La sostenibilidad en la formación universitaria: Desafíos y oportunidades. *Educación XXI*, 17 (1), doi: 10.5944/educxx1.17.1.10708, 131-158.
- Basabe, T. B. (2000). Funciones de la Vitamina C en el metabolismo del colágeno. *Revista Cubana Alimentos Nutrición*, 46-54.
- Betancur, G. C., Moñox, D., Canavire, G., Villanueva, D., García, J., Renza, L., . . . Zúñiga, A. P. (24 de Enero de 2018). *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/.../1-informe%20bioeconomia%20fase%201%20fin>.
- Borda P. M., M. P. (2013). Depresión en adultos mayores de cuatro hogares geriátricos de Barranquilla (Colombia): prevalencia y factores de riesgo. *Salud Uninorte*, 64 - 73.
- Cabrera, E., León, V., Montano, A., & Dopico, D. (2016). Caracterización de Residuos Agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar*, 43 (4), 27-35.
- Cerón, S. I., Higueta, J., & Cardona, C. (2011). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. *Vector*, 17-26.
- Chapela, I. H. (1994). Foro Forestal. *Foro Forestal*. Mexico, Mexico: N°3, 2ª Epoca.
- Chong, L. y. (2001). *Exportación de Naranja en conserva hacia los Estados Unidos y sus efectos en la economía ecuatoriana*. Guayaquil-Ecuador.
- CORPOICA. (2012). *Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/.../Generacion-de-valor-para-el-desarrollo-competitivo-d...>

- DANE. (2014). *Boletines agropecuarios*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/comunicados-y-boletines/agropecuario/insumos>
- DANE. (29 de Julio de 2015). *Censo Nacional Agropecuario Décima entrega de resultados 2014*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-10-produccion/10-Boletin.pdf>
- Duarte, T. O. (13 de Octubre de 2013). *Bioprospección en Colombia*. Obtenido de https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Bioprospecci%C3%B3n%20en%20Colombia%2C%20Oscar%20Duarte.pdf
- El Mundo. (26 de diciembre de 2016). Corpoica Prepara lulos de exportación.
- Facchini, P. J. (2001). Alkaloid biosynthesis in plants: Biochemistry, cell biology, molecular regulation, and metabolic engineering applications. . *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52., 29-66.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10)., 510-523.
- Fontagro. (2017). *Generalidades sobre el cultivo de Lulo*. Obtenido de <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/02/Generalidades-sobre-el-Cultivo-de-Lulo.pdf>
- Gómez, L., Morán, E., & Méndez, J. (2014). *Bioprospección y sustentabilidad participativa: una mirada desde el derecho de la biodiversidad*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4773589.pdf>
- Gómez-MerinoF, T.-T. G.-A.-Í. (6 de abril de 2018). Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. . México, México. Obtenido de

- Gómez-Merino F., Trejo-Téllez L., García-Albarado J., Cadeña-Íñiguez J. Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [Internet]. 6abr.2018 [citado 26sep.2019];(9):1741-5
- Hurtado, R., & Ortiz, L. S. (2018). *Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú*. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622870>
- ICA Instituto Colombiano Agropecuario. (2019). *Índice de Normatividad*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/normatividad/indice-de-normatividad.aspx?aliaspath=%2FNormatividad%2FIndice-de-Normatividad&searchtext=frutas>
- INCAP. (2019). *herramientas-operacionales-de-apoyo*. Obtenido de <http://www.incap.int/sisvan/index.php/es/>
- Liam, D. (2006). *Industria agroalimentaria y economía rural: competitividad y sostenibilidad*. Madrid: Circulo de Innovacion en biotecnología.
- Lobo, M. (2007). Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies relacionadas de la sección *Lasiocarpa*. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín Vol.60, No.2.*, p.3939-3964.
- Lupo, P. B., González, A. C., & Maestro, G. A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3 (1), 130-151.
- Mankiw, N. G. (2012). *Principios de Economía*. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos.

- Martín, Y. (21 de Septiembre de 2018). *Estudio de Viabilidad para la Exportación de Pulpa de Lulo a Panamá*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/22978/Yuri%20Andrea%20Martin%20Hernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, F. S., González, G. J., Culebras, J., & Tuñón, M. (2002). Los Flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, ISSN 0212-1611 , 271-278.
- Mayer, L. E., Bertoluzzo, S. M., & Bertoluzzo, M. G. (2006). Conservación de alimentos diseño y construcción de un liofilizador. *Invenio*, vol. 9, núm. 17, 147-157.
- Medina C., C. I., Lobo A., M., & Martínez B., E. (2009). Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia . *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria*, vol. 10, núm. 2,.
- Melgarejo, e. a. (2002). *Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia*. Bogotá: Cargraphics, 2002. 334p.--(Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10).
- Mellado, E., & Hornero, D. (2017). Carotenoides en Cereales. 472-500. Obtenido de <http://www.behavecol.es/es/research/senales-carotenoides-y-estres-oxidativo~10>
- Merino, F. T. (2014). *Lulo (Solanum quitoense [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano*. Mexico.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Programa Nacional de Biocomercio Sostenible*. Obtenido de www.minambiente.gov.co/.../NegociosVerdesysostenible/.../biocomercio_/PROGRAM...
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Plan de acción de biodiversidad para la implementación de la política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus*

- servicios ecosistémicos / 2016 – 2030.* Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/politica-nacional-de-biodiversidad/plan-de-accion#documentos>
- Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (2019). <http://www.mincit.gov.co/mincomercioexterior/estadisticas>. Obtenido de Estadísticas Bacex: <http://www.mincit.gov.co/mincomercioexterior/estadisticas>
- MinSalud. (Febrero de 2013). Perfil Nacioal del consumo de frutas y verduras. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Montenegro, S. P., & Hernández, Y. K. (2015). Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6 (2), 97-107.
- Muñoz, C. (2016). *Diseño de un producto biofuncional a base de lulo (Solanum quitoense Lam.) con aplicación en alimentos*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Muñoz, L. (2010). Muñoz, LA. (2010). Evaluación agronómica de materiales de lulo Solanum sp, frutal de alto potencial para zonas tropicales. pág. www.bdigital.unal.edu.co/3672/1/7207002.2010.pdf.
- Ochoa, V. L., Balaguera, H. E., Roa, G., Pinzón, E., & Álvarez, J. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto del lulo (Solanum quitoense Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 17 (3), DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art.512, 347-359.
- Opera Global Business. (2017). *El estudio del mercado*. Obtenido de El estudio del mercado: <https://operagb.com/wp-content/uploads/2017/09>

- Parra, H. R. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63 (2), 5669-5684.
- Peñaranda, G. L., Montenegro, G. S., & Giraldo, A. P. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8 (2), DOI: <https://doi.org/10.22490/issn.2145-6453>.
- Peñaranda, L. V., Montenegro, S. P., & Giraldo, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), , 141–150.
- Pérez, R. L. (s.f.). *Señales, carotenoides y estrés oxidativo*. Obtenido de <http://www.behavecol.es/es/research/senales-carotenoides-y-estres-oxidativo~10>
- Ramos, L., Gutiérrez, C., & Rodríguez, A. (2000). Formualción de medios de cultivo con residuos agroindustriales. *Centro Azúcar*, 27 (1),, 9-15.
- Salinas, R., García, M., & Velásquez, A. (2015). Biotecnología Y Etnomedicina Para El Desarrollo Humano. *Crea Ciencia*, 9(2), , 46–55.
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill Education.
- Sepúlveda, J. G., Porta, D. H., & Rocha, S. M. (2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 21, núm. 3, pp. 355-363.
- SIPSA, Minagricultura, DANE. (Mayo de 2014). *El cultivo del lulo (Solanum quitoense), una fruta agradable*. Obtenido de

- https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_may_2014.pdf
- Soto. (2011). *Caracterización química, fitoquímica y antibacteriana in vitro de las hojas del Anacardium occidentale L. (Marañón)*. Bayamo, Granma, Cuba: Universidad.
- Stashenko, E., Jaramillo, B., & Martinez, J. (2003). Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante in vitro de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27 (105), 579-597.
- Tamayo, L., Cartagena, C., & Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción Más Limpia*, 6 (1), 108-127.
- Taymer, M., Suset, A. C., Machado, H., & Campos, M. (2007). El Desarrollo sostenible. Perspectivas y enfoques. *Pastos y Forrajes*, Vol. 30, No. 2, , 191-204.
- Universidad de la Amazonía. (2019). *Metodología para Marcha Fitoquímica*. Florencia: Universidad de la Amazonía.
- Universidad Militar Nueva Granada. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (1), 59-72.
- Villacrez, Y. J. (2013). *Desarrollo de microencapsulados por SPRAY DRYING a partir de frutos de mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Virtual pro, procesos industriales*. (2019). Sacarle el jugo a los desechos de las frutas tiene ventajas. Obtenido de Virtual pro, procesos industriales:

<https://www.virtualpro.co/noticias/sacarle-el-jugo-a-los-desechos-de-las-frutas-tiene-ventajas>

Wink, M., & Schimmer, O. (1999). Modes of action of defensive secondary metabolites. . *Annual Plant Reviews*, 3 (ISBN 9781841270081) , 17-134.

Yepes, S. M., Montoya, N. L., & Orozco, S. F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales-frutas-en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, Colombia.

Zambonino, M. (2012). *Formas de ingreso de "frutas del ecuador"*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.

Anexos

Anexo I

Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides fenólicos

Metabolitos secundarios	Alcaloides fenólicos Fase Acuosa 2						
	Reacción Dragendorff	Reacción Drag. modificada	Reacción Erhlich	Reacción Mayer	Reacción Wagner	Reactivo Hager	Reactivo Bouchardat
Tratamiento 1	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 2	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 3	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 4	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 5	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 6	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 7	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 8	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 9	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 10	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 11	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 12	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 13	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 14	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 15	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 16	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 17	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 18	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 19	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 20	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 21	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 22	+	+	+	+	+	+	+

Fuente. Presente estudio

*Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).

Anexo 2

Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides de alta polaridad

Metabolitos secundarios	Alcaloides de alta polaridad Filtrado C, solubles en mezcla cloroformo: etanol						
Tratamientos	Reacción Dragendorff	Reacción Drag. modificada	Reacción Erhlich	Reacción Mayer	Reacción Wagner	Reactivo Hager	Reactivo Bouchardat
Tratamiento 1	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 2	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 3	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 4	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 5	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 6	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 7	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 8	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 9	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 10	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 11	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 12	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 13	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 14	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 15	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 16	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 17	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 18	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 19	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 20	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 21	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento 22	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. Presente estudio

*Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).

Anexo 3.

Marcha Fitoquímica de Metabolitos Secundarios para determinar presencia de alcaloides de amonio cuaternario

Metabolitos secundarios	Alcaloides de amonio cuaternario y/u óxidos de aminas						
	Reacción Dragendorff	Reacción Drag. modificada	Reacción Erhlich	Reacción Mayer	Reacción Wagner	Reactivo Hager	Reactivo Bouchardat
Tratamiento 1	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 2	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 3	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 4	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 5	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 6	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 7	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 8	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 9	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 10	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 11	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 12	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 13	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 14	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 15	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 16	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 17	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 18	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 19	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 20	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 21	+	+	+	+	+	+	+
Tratamiento 22	+	+	+	+	+	+	+

Fuente. Presente estudio

*Lectura: poco (+), regular (++), abundante (+++), quizás (+-) y negativo (-).

Anexo 4 Preparación de extractos etanólicos para marcha fitoquímica



Anexo 5 Análisis por espectrofotometría UV-Bis para carotenoides y Vitamina C

