



Extracción de aceites esenciales de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*) provenientes de la Sabana de Bogotá como posibles antimicrobianos para uso en el sector agrícola.

**Mateo Becerra Puerto
Daniela Castro Fonseca**

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de La Salud
Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá, D.C
2019**



Extracción de aceites esenciales de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*) provenientes de la Sabana de Bogotá como posibles antimicrobianos para uso en el sector agrícola.

**Mateo Becerra Puerto
Daniela Castro Fonseca**

**Trabajo de grado final para optar al título de bacteriólogo y
laboratorista clínico**

**Asesora interna
Jovanna Acero Godoy M.Sc**

**Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Facultad de Ciencias de La Salud
Bacteriología y Laboratorio Clínico
Bogotá, D.C
2019**

Dedicatoria

A mis Padres y Hermano por su apoyo incondicional en este proceso de formación, por soportar las largas noches en vela y las constantes interrupciones en nuestra convivencia familiar, a mi familia por entender y apoyar los grandes esfuerzos y sacrificios que se hicieron para llegar a este punto de mi formación académica, a la Familia Manosalva Puerto por abrirme las puertas de su hogar en mi último semestre para darme experiencias enriquecedoras como persona y profesional, a mis amigos por cada risa, pelea y momentos de estudio que enriquecieron a la experiencia universitaria haciéndome crecer como persona, a mi mascota por los momentos de distracción y dispersión que necesitaba en los momentos más difíciles, de igual forma a los profesores que me brindaron todos sus conocimientos y experiencia profesional para abrir nuestros horizontes y explorar nuevos puntos de vista.

Al equipo del área de investigación de parasitología del Instituto nacional de salud por brindarme una experiencia enriquecedora para mi formación académica y personal, también a la Universidad de Santander y al Instituto De Salud De Bucaramanga por darme la oportunidad de aprender y crecer como persona.

A la profesora Jovanna Acero Godoy por orientar este trabajo por el camino indicado, siempre poniendo por delante la calidad y el profesionalismo del proyecto; por la paciencia en los momentos más tensionantes de la construcción de este trabajo y por la grandiosa actitud que la hace un gran ser humano. Por último a mi pareja que gracias a ella entendí lo que significa luchar por lo que más quieres, que cualquier problema tiene solución con un poco de esfuerzo y dedicación, superando cualquier dificultad que se presente con amor y comprensión, por estar siempre a mi lado en todo momento tanto buenos como malos que trajo este camino, llenándome de calma y cariño cuando más lo necesitaba.

Mateo Becerra Puerto

Dedicatoria

A mi mamá, que siempre me apoyó y me acompañó en el proceso dándome fuerza y motivación para seguir adelante tanto en el proyecto como en la vida para ser lo que hoy en día me he convertido, a mi familia que me dio ánimos para seguir, a Dios que todo me lo ha dado para mi bienestar, ya que me ha llenado de paciencia, motivación y fuerza para seguir, a mi mascota Eddy que en momentos difíciles estuvo allí para reconfortarme y levantarme cada vez que sentía que no podía y a mi pareja, porque sin él no habría tenido las fuerzas, el ánimo, el amor, la paciencia, la dedicación para continuar y crecer hasta donde estoy hoy en día, porque con su compañía, su calidez y siempre la mejor energía puede llegar a cumplir esta meta propuesta.

A mi profesora Jovanna Acero Godoy por tener paciencia y esa gratitud para orientarnos y explicarnos, por estar en esos momentos en que siempre la necesité tanto personalmente como profesionalmente

Así mismo a mis compañeros y profesores de la universidad que aportaron conocimiento a mi vida y mi carrera para formarme como una profesional e hicieron que la travesía por la universidad fuera mucho más llevadera y agradable, con recuerdos maravillosos y experiencias inolvidables.

Daniela Castro Fonseca

Agradecimientos

A la Universidad Colegio Mayor De Cundinamarca que nos abrió las puertas y nos permitió formarnos como profesionales, conocer personas que nos brindaron su colaboración. Y en especial, a nuestra profesora Jovanna Acero Godoy, quien nos orientó en esta labor con su experiencia, paciencia y dedicación con nosotros y este proyecto de grado. También a la Universidad Nacional y La pontificia Universidad Javeriana que nos brindaron apoyo científico y tecnológico para hacer de este trabajo una realidad.

Y de igual forma a cada una de nuestras familias, amigos y todas aquellas personas que estuvieron con nosotras en todo este proceso que con su apoyo hicieron posible culminar uno de nuestros sueños que tenemos por cumplir y por todos los demás sueños que están por venir.

Gracias.

Tabla de contenido

Resumen	12
1.INTRODUCCIÓN	14
2. Objetivos	16
2.1. Objetivo General	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. Antecedentes	17
4. Marco Teórico	¡Error! Marcador no definido.6
4.1. Familia <i>Gramineae</i> (<i>Poaceae</i>)	276
4.2. <i>Cymbopogon citratus</i> y <i>Cymbopogon nardus</i>	28
4.3. Aceites esenciales	300
4.4. Clasificación de los aceites esenciales	310
4.5. Características de los aceites esenciales	321
4.6. Composición de los aceites esenciales de <i>Cymbopogon citratus</i> y <i>Cymbopogon nardus</i>	322
5. Metodología	366
5.1 Diseño metodológico	366
5.2. Certificación del material vegetal	366
5.3. Extracción y rendimiento de los Aceites esenciales:	366
5.4. Cromatografía Gases-Masas (GC-MS)	400
5.5. Características físico químicas.	411
5.5.1. Densidad relativa del aceite esencial 20° C:	411
5.5.2. Índice de refracción del aceite esencial:	411
5.5.3 Índice de retención	42
5.5.4 Utilización de software	422
5.6 correlación bibliográfica	423
6. Resultados	444
7. Discusión	577
8. Conclusiones	633
Recomendaciones	634
Referencias	645

Tabla de gráficas

Gráfica 1 Porcentaje promedio del rendimiento de la extracción de aceites esenciales de citronela y limonaria.....	45
Gráfica 2 Densidad promedio de los aceites de citronela y limonaria.....	46
Gráfica 3 Índice de refracción promedio de los aceites esenciales de citronela y Limonaria.....	46
Gráfica 4 Porcentaje de área promedio de los compuestos del aceite extraído de Citronela.....	50
Gráfica 5 Porcentaje de área promedio de los compuestos del aceite extraído de Limonaria.....	51

Tabla de tablas

Tabla 1 Ventajas de los métodos de extracción de aceites esenciales.....	38
Tabla 2 Desventajas de los métodos de extracción de aceites esenciales.....	39
Tabla 3 Comparación de rendimiento entre autores y aceite procesado de Citronela y Limonaria	45
Tabla 4 Compuestos del aceite procesado de Citronela.....	48
Tabla 5 Compuestos del aceite procesado de limonaria.....	48
Tabla 6 Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Citronela.....	49
Tabla 7 Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Limonaria	51
Tabla 8 Índice de retención de los compuestos del aceite extraído de Citronela	52
Tabla 9 Índice de retención de los compuestos del aceite extraído de Limonaria	53
Tabla 10 Comparación de los compuestos entre autores y el aceite procesado de citronela.....	54
Tabla 11 Comparación de los compuestos entre autores y el aceite procesado de limonaria.....	54
Tabla 12 Agentes microbianos afectados por el aceite esencial de Citronela	55
Tabla 13 Agentes microbianos afectados por el aceite esencial de Limonaria.....	56

Tabla de Imágenes

Imagen 1 *Cymbopogon citratus* tomada de Emerald coast growers.....28

Imagen 2 *Cymbopogon nardus* tomada de Aromaweb.eu.....30

Tabla de Anexos

Anexo 1 Certificación taxonómica del material vegetal de las plantas *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus* por parte de la Universidad Nacional.

Anexo 2 Rendimiento de los aceites esenciales de las plantas *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus*.

Anexo 3 Repeticiones por el método de cromatografía de gases masa de *Cymbopogon nardus*.

Anexo 4 Repeticiones por el método de cromatografía de gases masa de *Cymbopogon citratus*.

Anexo 5 Propiedades físicas de los aceites esenciales de las plantas *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus*.

Extracción de aceites esenciales de las plantas *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus* provenientes de la sabana de Bogotá como posibles antimicrobianos para uso en el sector agrícola.

Resumen

El proyecto se fundamenta en evaluar la capacidad de los aceites esenciales extraídos a partir de plantas recolectadas de la sabana de Bogotá por medio del método de destilación por arrastre de vapor de Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronella (*Cymbopogon nardus*) previamente identificadas y certificadas taxonómicamente en el herbario de la Universidad Nacional para combatir la presencia de agentes patógenos (bacterias y hongos) que puedan enfermar a los cultivos de productos agrícolas, esto con el propósito de generar una alternativa a pesticidas tóxicos con la implementación de estos aceites esenciales.

Los aceites esenciales extraídos se evaluaron para determinar su rendimiento en cuanto al material utilizado, densidad e índice de refracción los cuales entregan valores de los aceites, que aportan veracidad al estudio realizado y la factibilidad de la utilización como posible reemplazo a la utilización a los componentes químicos. En el caso del aceite esencial extraído de Citronela se encuentran alrededor de 17 compuestos que son de importancia siendo el Geraniol, Citronelal y β -Citral con porcentajes de área de 16.13%, 8.12% y 6.39% respectivamente; para el aceite esencial extraído de limonaria se tiene un promedio de 15 compuestos cuyos más importantes son el β -Citral, Citral y β -Mirceno con porcentajes de área de 10,18%, 9,65% y 8,72%. Según la literatura estos compuestos se describen como los encargados de generar la acción antimicrobiana en los productos agrícolas.

La capacidad de los aceites será establecida por su composición química, se determinará por medio del ensayo cromatografía de gases masas y se identificará mediante el uso de un software estadístico y atlas biológico que permiten analizar y corroborar los compuestos que estos poseen, de esta manera evaluar los componentes que interactúan con los microorganismos causales de enfermedad para ser combatidos y eliminados al entrar en contacto con dichos aceites. Para evaluar la actividad de los aceites esenciales se realizó la búsqueda y comparación con otros autores que hablaron, trabajaron y trataron el mismo tema con el fin de tener un punto más claro y acertado acerca de los componentes que hacen que los aceites tengan la acción antimicrobiana

Posteriormente, se realizó una comparación entre los aceites para establecer el que presenta mayor potencial al momento de combatir los microorganismos y ser utilizado posteriormente como alternativa de pesticida.

Palabras clave: Antimicrobiano, limonaria (*C. citratus*), citronela (*C. nardus*), cromatografía de gases masa, destilación por arrastre de vapor, aceites esenciales, densidad e índice de refracción.

1. INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola es usual que se encuentren varias plagas, microorganismos patógenos que arruinan los cultivos, y es debido a estas problemáticas que se han buscado nuevas alternativas de productos que suplan el sobreuso de los pesticidas para reducir los daños en la salud del productor y el consumidor y que no genere la resistencia, además de buscar nuevas áreas de investigación para el uso de productos de origen natural para combatir estas enfermedades. Los aceites esenciales hacen parte de estas nuevas alternativas para el control de los agentes patógenos, el efecto de estos aceites depende de los compuestos que se encuentren en las plantas de los cuales fueron extraídos, ya que cada planta presenta ciertos beneficios y propiedades que pueden ser aprovechados para combatir los organismos causantes de enfermedad.

Estos pesticidas poseen sustancias químicas que contienen compuestos activos que erradican los agentes causantes de enfermedad de forma rápida y eficaz por lo cual se ha explotado el uso de estos productos; lo que muchas veces es ignorado es que el uso de éstos generan una resistencia por parte de los microorganismos y plagas involucradas, por lo cual se ha optado por aumentar la potencia y concentración del principio activo lo que conlleva un aumento de los residuos sobrantes en el producto final que además de seguir aumentando la resistencia a éste puede generar algunos problemas de salud a las personas que entren en contacto con el cultivo y a este mismo, es decir que se ven afectados los productores, quien lo cultiva, lo transporta y lo distribuye, llegando hasta el consumidor que es quien ingiere el producto.

Con el uso de sustancias químicas para la erradicación de microorganismos y plagas se presentan otras muchas alteraciones que muchas veces son omitidas por el bien económico que pueden ser mucho más perjudiciales como pueden ser el deterioro de la capacidad nutricional de los productos agrícolas, la afectación de la progenie de estos cultivos que pueden sufrir una serie de mutaciones debido al uso de productos químicos para su cuidado, la erosión de los suelos en los cuales estos productos químicos son utilizados y la alteración de los sistemas biológicos que lo rodean.

El uso de los aceites esenciales en el campo de la agricultura como un posible tratamiento contra microorganismos que afectan los cultivos es de vital importancia puesto que varios estudios han demostrado que estos aceites tienen la capacidad de inhibir y hacer frente contra diversos patógenos que provocan la pérdida en grandes cantidades de los cultivos, debido a esto diferentes autores han aplicado como alternativa el uso de aceites esenciales para el control de enfermedades tanto en cosecha como en post-cosecha. dado que los aceites son una mezcla compleja de compuestos volátiles producidos en diferentes partes de las plantas, y han sido reconocidos por poseer diversas funciones, incluyendo conferir la resistencia a plagas y enfermedades; algunos aceites, así como sus constituyentes, han demostrado poseer propiedades antibacterianas y antifúngicas⁶.

Dado esto los aceites esenciales de las plantas *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus* que son plantas conocidas por su alta capacidad de combatir un amplio espectro de microorganismos y plagas ya sean de origen bacteriano como *B. subtilis* o *S. aureus* y origen micótico como *Helminthosporium* sp. y *Rhizopus* sp. Además de su uso en terapias alternativas para diversas patologías, ha generado el interés en su explotación y extensión para de esta forma poder dar a conocer un producto de origen natural como alternativa para reducir el uso de agentes químicos dañinos en el ser humano.

Este proyecto hace parte de un macroproyecto que pretende determinar la capacidad de los aceites esenciales extraídos de plantas con diverso origen que puedan ser utilizadas como plaguicidas o compuestos fito protectores contra diversas enfermedades del sector agrícola.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la composición química de los aceites esenciales de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*) como posibles antimicrobianos para agentes patógenos que afectan a los productos del sector agrícola.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la extracción y determinación del rendimiento y características físicas de los aceites esenciales de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*).
- Identificar y destacar los componentes químicos que poseen los aceites esenciales de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*) por medio de la cromatografía de gases y confirmarlos con la utilización de un software digital.
- Definir las capacidades de los aceites esenciales extraídos de las plantas Limonaria (*Cymbopogon citratus*) y Citronela (*Cymbopogon nardus*), y de sus diversos componentes en el control microbiológico por medio de su comparación con la literatura y su posterior utilización en el sector agrícola.

3. Antecedentes

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes)¹. En la actualidad se busca una nueva alternativa para el uso de estos como es el caso del control microbiológico o como antimicrobiano.

Debido a lo anterior Ricci y colaboradores en su artículo del 2006 “Utilización de Aceite Esencial de Lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf) como Repelente de *Diuraphis noxia* Kurdj. (Hemiptera: *Aphididae*) en Trigo”, se habla de una técnica alternativa para el manejo de plagas por medio del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* para el control del pulgón ruso (*Diuraphis noxia* Kurdj) el cual se encuentra en las plantas de trigo y causa daños en este cultivo, para esto se utilizaron dos técnicas de aplicación con las cuales se busca evaluar su efecto en la plaga, las cuales son: Aplicación directa e impregnación de papeles y pulverización directa en hojas de trigo desarrolladas, de los resultados de estas técnicas se obtuvo un porcentaje de repelencia de 66,07% para la aplicación directa y 74,33% para pulverización e impregnación de papeles, debido a esto se llegó a la conclusión que los aceites esenciales de *C. citratus* demostraron actividad repelente sobre *D. noxia*¹.

Para Rodríguez y colaboradores, en el año 2006 en el estudio “Composición química del aceite esencial de las hojas de *Cymbopogon nardus* y *Cymbopogon citratus*” se indaga acerca del *Cymbopogon citratus* de origen colombiano del departamento de Santander el cual presenta una composición química donde predomina geranial (31.0%), β -mirceno (38.1%), neral (25.7 %) y α -elemeno (2.1%) correspondientes al 87.76 % de la mezcla total, mientras que en *Cymbopogon nardus* predomina citronelal (54.2 %), limoneno (6.5 %), α -bourboneno (5.6 %) y α -cubebeno (4.5 %) correspondientes al 70.8% del total de los componentes extraídos, se debe tener en cuenta que esta composición puede variar debido a las diferentes condiciones ambientales a la cual sean expuestos en su crecimiento, ya que en otros lugares como África y Perú la distribución de los compuestos suele variar².

Así mismo, Sánchez y colaboradores en el 2007, buscaban nuevas alternativas a partir de productos naturales para sustituir o atenuar el uso de compuestos químicos, empleados frecuentemente para el control de microorganismos. Se ha demostrado que los aceites esenciales de plantas aromáticas disponen de un amplio espectro de actividad antimicrobiana, por lo cual el aceite esencial de Citronela extraído tanto de sus hojas como del tallo posee propiedades antimicrobianas contra hongos y bacterias de las cepas *Penicillium sp.*(CCIBP-Pen18), *Aspergillus niger* (CCIBP-Asp10), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) y *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) extraídos de plantas con signo de enfermedad, mediante los métodos de Difusión en Agar y Dilución en Agar. Demostrando que el aceite esencial logró inhibir el crecimiento del 100% de las cepas de hongos y bacterias analizadas³. Los aceites esenciales inhibieron el crecimiento de todas las cepas de hongos filamentosos utilizadas, donde estos constituyen un problema serio en cuanto a las pérdidas que ocasionan en el cultivo de plantas³.

En Julio del 2008 Sánchez y colaboradores , demostraron que aceites esenciales de plantas aromáticas controlan el crecimiento de hongos del suelo patógenos de plantas como *M. phaseolina* y que plantas del género *Cymbopogon*, incluyendo a *Cymbopogon nardus*, poseen propiedades antimicrobianas⁴. Donde se evaluó la actividad antifúngica del aceite de *Cymbopogon nardus* mediante la determinación de la Mínima Concentración Inhibitoria (MCI), por el método de las diluciones seriadas dobles decrecientes utilizando el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), en el cual el aceite esencial de *C. nardus* mostró actividad antifúngica frente al hongo *Macrophomina phaseolina*, expresada en la capacidad de inhibir el crecimiento de esta cepa a una concentración de 1,5%⁴.

Por parte de Antolinez, J. y colaboradores presentan en Enero del 2008 un estudio de las diferentes variables que afectan al cultivo de *Cymbopogon citratus* para su crecimiento y desarrollo ya que este puede afectar la cantidad y concentración de los componentes en el aceite extraído, para esto se realizó un total de 9 tratamientos diferentes que consistían en el uso de 3 fertilizantes diferentes que suministraban diferente cantidad de nutrientes y además de evaluar el desarrollo de las plantas en intervalos de tiempo diferentes por cada 3 ensayos todo esto para la misma especie de planta certificada; observando que la principal variable sería el tiempo de cultivo

ya que en el caso del tratamiento con el tercer fertilizante en los dos primeros ensayos presentaba una mayor cantidad de aceite, con reducida diferencia con los otros 2 tratamientos, pero ya al último ensayo donde se habían sometido al mismo tiempo del cultivo los tres fertilizantes dieron la misma cantidad de aceite extraído⁵.

Por su parte Álzate, D. y colaboradores en el año 2009 hablan de la actividad fitotóxica y la evaluación antifúngica que presenta el aceite esencial de *Cymbopogon citratus*, contra la especie *C. acutatum* de los aceites esenciales (AE) de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), estas actividades se han asociado a sus componentes mayoritarios el timol y el citral junto con sus derivados, sus isómeros geranial (trans-citral, llamado citral A) y neral (cis-citral, llamado citral B). Por lo cual se emplean industrialmente para la elaboración de saborizantes y aromas alimenticios⁶.

También se evaluó la actividad antifúngica tanto de los AE provenientes de las especies *Thymus vulgaris* y *Cymbopogon citratus*, obtenidos mediante destilación por arrastre con vapor, como de sus componentes mayoritarios adquiridos de casas comerciales, contra la especie *Colletotrichum acutatum*. La inhibición del crecimiento micelial de *C. acutatum* por parte del aceite esencial extraído *Cymbopogon citratus* el cual fue utilizado en diferentes concentraciones que fueron de 350 y 400 mg/L, se realizó en cajas Petri de nueve centímetros de diámetro y las dispersiones de las mezclas fungicidas en el medio de cultivo PDA se efectuaron en una cámara de flujo laminar vertical, utilizando cristalería esterilizada en autoclave. La inoculación se llevó a cabo colocando en el centro de la caja un disco de PDA de seis milímetros de diámetro colonizado por el hongo durante dos días de incubación. El crecimiento micelial se midió con una regla milimetrada cada 24 horas por un período de tiempo máximo de 11 días. Y los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y limoncillo (*C. citratus*) ocasionaron una inhibición total del crecimiento micelial in vitro de *C. acutatum* durante las primeras 72 horas de análisis y manteniendo un porcentaje de inhibición que oscila entre el 80 y 90 % al cabo de 96 y 168 horas de evaluación⁶.

En el caso de Olivero y colaboradores en el 2009, utilizaron 3 aceites esenciales en los cuales buscaban evaluar su capacidad para el control de plagas comparándolos con un plaguicida convencional de origen químico contra *Tribolium castaneum* o

Escarabajo rojo de la harina que suelen encontrarse en campos de cereales y en bodegas de conservación. Para esto se utilizó el método de área de preferencia el cual evalúa la actividad repelente de cada sustancia, y con la utilización de la prueba T pareada se compara el número de insectos presentes en las áreas tratadas por cada componente y las no tratadas; dando como resultados que todos los aceites tienen efectos repelente para esta plaga siendo más eficaz el extracto de *Lippia origanoides* y *Citrus sinensis* mientras que *Cymbopogon nardus* presenta una actividad más baja que las otras, en el caso del producto de origen químico tiene una capacidad similar a los aceites utilizados⁷.

Por parte de Cruz y colaboradores en el año 2010 exponen que con ayuda del extracto de hojas secas de *Bidens pilosa*, *Lantana cámara*, *Schinus molle* y *Silybum marianum*, en busca de nuevos productos antibacterianos, sometiendo a estos extractos a ensayos in vitro para establecer su actividad antibacteriana y sus concentraciones mínimas inhibitoria y bactericida, contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*⁸. Las actividades de estos aceites fueron comparadas con la actividad de un fármaco estándar (Gentamicina); los extractos demostraron eficacia contra *S. aureus*; la que mostró mejor actividad fue *B. pilosa* y *L. cámara*, en cuanto *S. molle* y *S. marianum* exhibieron la capacidad moderada para inhibir el crecimiento de *S. aureus*. Lo que demuestra que la plantas pueden combatir el *S. aureus* pero frente a los otros agentes no poseen actividad alguna⁸.

En el 2010 Ramos y colaboradores plantean la utilización de aceites esenciales para el recubrimiento de varios productos hortofrutícolas junto con otros autores, se llegó a la conclusión que al combinarlo con el quitosano para generar un recubrimiento consumible que contenga propiedades antimicrobianas y mantenga los alimentos libres de estos agentes, además de conservar las propiedades organolépticas de éstos. En su revisión comprobó que se puede inhibir el crecimiento de algunas bacterias como *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella* con la utilización de extractos de *Zyzygiun aromaticum* L. *Cinnamomun zeylanicum* Blume, *Thymus vulgaris* L. *Cinnamomun zeylanicum* Blume. *Coriandrum sativum* L estas estando en distintas concentraciones expuestas por otros autores; dando como conclusión que el uso de compuestos de origen natural en casos de recubrimiento de

alimentos son efectivos al momento de inhibir la expresión de varios microorganismos⁹.

Por su parte en el año 2010 Quintana y colaboradores en el artículo “ Inhibición del crecimiento de *Penicillium chrysogenum* por presencia de aceites de *Cinnamomum zeylanicum*, *Allium cepa* y *Cymbopogon citratus*” evaluaron el efecto de los antifúngicos de 3 aceites esenciales sobre la producción de esporas y la capacidad de reducir el tamaño del micelio, dando como resultado la concentración mínima inhibitoria obtenida de mezclar el aceite con Tween 80 en diferentes volúmenes para reducir la concentración de los extractos, es de 50% para cada aceite y todos presentan capacidad inhibitoria de germinación de esporas y reducción del micelio siendo el que tiene más potencial el *C. citratus*¹⁰.

En el 2012 Rodríguez y colaboradores realizaron un estudio comparativo de la composición de los aceites esenciales de *C. citratus*, *C. nardus*, *C. flexuosus* y *C. martinii*, cultivadas en parcelas experimentales en Bucaramanga, Colombia. Los aceites esenciales se obtuvieron mediante hidrodestilación asistida por radiación de microondas de hojas frescas de cada especie. Y la identificación de los componentes presentes en los aceites se realizó por medio de análisis por GC-MS, y la cuantificación de estos componentes se realizó por GC-FID, utilizando n-tetra decano como estándar interno y una curva de calibración para los componentes mayoritarios¹¹. El aceite esencial extraído de *C. nardus* presenta actividad antimicrobiana contra *Pseudomonas putida*, y también una actividad inhibitoria del crecimiento de *Aspergillus niger*, generando un rendimiento de 1,06%¹². El aceite esencial extraído de *C. citratus* posee una actividad antifúngica, antibacteriana, citotóxica, foto tóxica y fungicida contra patógenos del maíz y del sorgo. Además se ha reportado actividad in vitro contra la bacteria *Escherichia coli* y actividad insecticida contra la mosca doméstica, proporcionando un rendimiento de 0,46%¹¹.

Olivares y colaboradores, realizaron una revisión bibliográfica en el año 2013 que habla del uso de los aceites esenciales y sus componentes en fase de vapor para ser utilizados como antimicrobianos, en el cual expone la capacidad natural de las plantas al tener efectos antimicrobianos, de la misma forma muestra diferentes fuentes como pueden ser hierbas y frutos cítricos, también plantea cómo los compuestos pueden

llegar a ser extraídos usando como principal método el de destilación por vapor o siendo potenciado por microondas, en busca de que conserve sus principales características de igual forma busca la forma de combinar las diferentes fórmulas de los compuestos sin llegar a perder las capacidades originales para potenciar las nuevas sustancias resultantes de esta mezcla. Concluyendo que las mezclas de diferentes compuestos pueden llegar a ser de vital importancia para combatir agentes antimicrobianos en diferentes productos ya que pueden suplir las necesidades químicas o de compuestos que un aceite por sí solo no posee potenciando su efecto y dejando atrás otros compuestos químicos¹².

Wei y colaboradores para Junio del 2013 en el artículo “Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Cymbopogon nardus* citronella contra bacterias sistémicas de animales acuáticos” identificaron un total de 22 compuestos químicos en el aceite esencial de *C. nardus*, que representan el 93,1% de los compuestos detectados, donde citronellal, o 6-octenal, 3, 7-dimetil- fue el componente principal (29,6%), seguido de 2,6. -octadienal, 3,7-dimetil-, (E) - (11,0%), cis-2,6-dimetil-2,6-octadieno (6,9%) y ácido propanoico, 2-metil-, 3,7-dimetilo -2,6-octadienil éster, (E) - (6.9%). En este estudio, el aceite esencial de *C. nardus* fue capaz de inhibir el crecimiento de los 36 aislamientos bacterianos de animales acuáticos cultivados, así como de 7 cepas de tipo bacteriano ATCC¹³.

Para enero del 2014 Wagner, R. y colaboradores cuentan como el componente crudo del aceite esencial de *C. nardus* suprimió notablemente la producción de esporas, la germinación y la inhibición del crecimiento de *P. grisea*, *Aspergillus spp.* Y *Colletotrichum musae*. Estas esporas fueron afectadas drásticamente por la acción volátil del aceite esencial, donde se ve el impacto en el desarrollo del micelio de la superficie y la percepción y transducción de las señales involucradas en el cambio del desarrollo vegetativo al reproductivo, así limitando la propagación del patógeno al disminuir la carga de esporas en la atmósfera, esta acción antifúngica podría atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos, monoterpenos oxigenados e hidrocarburos sesquiterpénicos, también se puede atribuir a los cambios morfológicos en la pared celular y la interferencia en las reacciones enzimáticas de la síntesis de la pared, que afectan el crecimiento de hongos y la morfogénesis. Esto provoca un

aumento en la permeabilidad de los iones y la fuga de componentes intracelulares vitales, o un deterioro de los sistemas de enzimas fúngicas ¹⁴.

En el año 2014 Aragón y colaboradores evaluaron el efecto repelente del aceite esencial de citronela comercial a base de *C. nardus*, incombustible e inflamable, la planta *P. citrosum* y un gel comercial a base de extractos vegetales como repelente de adultos del mosquito *C. quinquefasciatus*. Del cual pudieron concluir que cuando se colocan y prenden las antorchas con aceite de citronela a una distancia de tres metros, el número de mosquitos que pican disminuirá y contará con una mayor protección, demostrando la toxicidad del aceite de citronela sobre artrópodos¹⁵.

Para el año 2015 Teixeira y colaboradores en el artículo “Composición química y actividad insecticida de *Cymbopogon citratus* aceite esencial de Cuba y Brasil contra la mosca doméstica” permiten el análisis químico por medio de la GC-MS (Cromatografía Gaseosa acoplada a espectrómetro de masa) de los aceites de Brasil / Cuba permitiendo la identificación de 13 y 12 principales constituyentes respectivamente; nueve de ellos comunes. En los dos aceites, los principales componentes fueron los isómeros geranial y neral, que juntos forman el componente citral¹⁶.

Componentes como mirceno, 2- tridecanone y el citronelal solo aparecen en la *Cymbopogon citratus* proveniente de Cuba, mientras que compuestos tales como canfeno, limoneno y n - decanal solo aparecen en la *Cymbopogon citratus* de Brasil, lo que muestra que por más que se compartan género y especie los componentes químicos pueden variar dependiendo de los factores ambientales y forma de cultivo del mismo¹⁶.

Méndez y colaboradores en el año 2015 buscaron evaluar la composición química y las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de la especie vegetal *Citrus sinensis* L, obtenidos mediante hidrodestilación e hidroddestilación asistida por la radiación con microondas, así mismo realizaron una comparación entre los dos métodos de extracción utilizados y se concluyó que la técnica hidroddestilación asistida por la radiación con microondas mostró ser el método más efectivo en la extracción del aceite esencial de *C. sinensis*. Esto es debido a la acción de las

microondas sobre las paredes glandulares que contiene el aceite esencial, lo cual hace que el material vegetal se rompa más rápido y eficientemente. La hidrodestilación asistida por microondas utiliza tres formas de transferencia de calor dentro de la muestra: la irradiación, conducción y convección. Como resultado, produce calor con mayor rapidez dentro y fuera de las glándulas¹⁷.

En noviembre del 2015 Greiner, I. y colaboradores comentan que varios autores han demostrado la actividad antifúngica in vitro de los aceites esenciales de *C. nardus* y otras especies del género *Cymbopogon*, sobre el hongo patógeno *Microsporum canis*¹⁸. Pero Pandey, A. y colaboradores por su parte en enero del 2016 hablan que varios hongos son inhibidos completamente por el aceite esencial de *Cymbopogon citratus*, así mismo como de algunas bacterias patógenas de esta manera se exhiben como agentes potenciales de control microbiológico contra patógenos fúngicos y bacterianos, dado su potencial para proteger los productos alimenticios ¹⁹.

Fay y colaboradores en el año 2017 exponen como la utilización de los extractos de 4 plantas pueden ser utilizados para la inhibición de Bacterias como *E. coli*, *S. aureus* y *B. subtilis* y hongos como *A. niger* y *P. citrinum* por el método de difusión en discos que consiste en la impregnación de estos aceites a discos de papel y poniendo estos en contacto en un Agar sembrado de forma masiva. Por medio de este ensayo con la utilización de aceites de *O. quixos*, *B. graveolens*, *C. citratus* y *C. longa*, y cuyos resultados demuestran que los aceites esenciales de *O. quixos* y *B. graveolens* poseen mayor capacidad antimicrobiana, por parte del aceite de *C. citratus* presentó efecto contra las bacterias, pero mostró un débil efecto antifúngico. y por último el aceite de *C. longa* no demostró un efecto antimicrobiano relevante²⁰.

Torrenegra y colaboradores, en su artículo “Actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de diferentes especies del género Citrus” en el año 2017, evaluaron la actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de diferentes especies del género Citrus frente a cepas ATCC de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*, determinando la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB)²¹.

Se determinó la CMI de aquellos aceites esenciales que presentaron porcentajes de inhibición superiores al 90%, siguiendo lo establecido por el CLSI con algunas modificaciones y se calculó como la mínima concentración del extracto o fracción que inhibe completamente el crecimiento bacteriano y se expresó en g/mL; para la CMB se calculó como la mínima concentración del componente que no permite el crecimiento visible de colonias en la placa de Petri. Los resultados de la CMB para los aceites esenciales sugieren que a esas concentraciones su actividad se debe a efectos de tipo bacteriostático y no bactericida. Para la CMI se encontraron valores de ≥ 600 mg/mL frente a *S. aureus*, *S. epidermidis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* y *E. coli*. En función a los resultados obtenidos, se concluye que las diferentes especies del género Citrus son consideradas como promisorias para el control del componente bacteriano²¹.

Argote y colaboradores en el 2017 querían evaluar la capacidad antibacteriana de aceites esenciales de eucalipto, limón y mandarina frente a bacterias ATCC *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. determinando con la concentración mínima inhibitoria CMI y bactericida CMB, mediante el método de microdilución. Donde las concentraciones mínimas inhibitorias CMI y bactericidas CMB fueron: *S. aureus*, con eucalipto y mandarina 6,8 μ L/ml, limón 7,6 μ L/ml. Con la bacteria *E. coli*, eucalipto y mandarina 13,2 μ L/mL y limón 14,6 μ L/mL. Los resultados demostraron que los aceites esenciales de eucalipto, cáscara de limón y mandarina tienen capacidad inhibitoria para las bacterias *Escherichia coli* (ATCC 25922) y *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923)²².

Leyva, M. y colaboradores con su trabajo publicado en Octubre del 2017, explican los principales rasgos que tienen las plantas y sus compuestos para poseer una función como insecticida en su estado natural, estos con diferentes insectos en la región de las américas, en el caso del material de estudio presente en este trabajo el *Cymbopogon citratus* y el *Cymbopogon nardus* muestra que el principal mecanismo

que utilizan los compuestos químicos presentes en sus hojas y los principales insectos afectados son el *Aedes aegypti* y *Anopheles albimanus* ya que son vulnerables a los compuestos de estas plantas²³.

Más recientemente Molina, A y Méndez, L en el año 2018 realizaron una comparación entre el extracto de *Cymbopogon citratus* y dos repelentes, uno de origen natural en base oleosa y otro repelente del tipo comercial en base etanólica en contra del mosquito *Aedes aegypti*, por medio de diferentes ensayos se demostró que el aceite de *Cymbopogon citratus* tiene efecto contra la forma adulta de este mosquito en 10, 20, 30 y 40%, siendo el más efectivo el de 40% con una eliminación del 100% de los insectos expuestos, que junto con el repelente de origen etanólico son los más potentes para este tipo de mosquito con el mismo tiempo de protección de 90 minutos²⁴.

4. Marco Teórico

4.1. Familia *Gramineae* (*Poaceae*)

Características: plantas casi siempre herbáceas, anuales o perennes. Presentan una estructura floral muy característica, agrupando las flores en espiguillas. En estado vegetativo son útiles para su clasificación las características de las hojas²⁵.

Tallo tipo caña; cilíndrico, sencillo, hueco en los entrenudos y macizo en los nudos, donde se insertan las hojas. En estado vegetativo es muy corto y puede dar lugar a estolones o rizomas. Hojas alternas, dísticas, de lineares a lanceoladas; en su parte inferior se encuentra la vaina, que envuelve el tallo, y en la superior el limbo o lámina, plano o enrollado. En la unión del limbo y la vaina puede haber una lígula membranosa o pelosa, y el limbo puede presentar en su base dos prolongaciones laterales o aurículas²⁵.

Flores hermafroditas, en ocasiones unisexuales o estériles con dos glumelas o brácteas membranosas: lema (inferior) y palea (superior); pueden presentar aristas en diversas posiciones. Tienen 3 estambres (raramente 1-2 o 6) con grandes anteras, expertos en la floración. Gineceo con dos estigmas plumosos; en la base del gineceo se sitúan las lodículas, que al hincharse por hidratación separan las glumelas y permiten la salida de las anteras²⁵.

Inflorescencia formada por espiguillas; éstas constan de un raquis sobre el que se insertan 1 o más flores cubiertas por 2 brácteas o glumas situadas en la base de la espiguilla y que cubren las flores más o menos. Las espiguillas se disponen formando espigas (*Lolium*), racimos, panículas laxas (*Avena*) o contraídas (*Alopecurus*) y grupos de espigas o racimos (*Cynodon*, *Echinochloa*)²⁵.

Fruto tipo cariósipide; se dispersa sólo la cariósipide (*Triticum*) o ésta junto a otras estructuras como el lema y palea (*Lolium*), lema, palea y flores estériles (*Avena*), la espiguilla completa (*Alopecurus*) o varias espiguillas juntas o fragmentos de la espiga (*Hordeum murinum*)²⁵.

Distribución: cosmopolita; diversidad: 650 géneros, 9.500 especies; es una de las familias más importantes, tanto por su interés agrícola como por ser un componente esencial de la flora de pastizales²⁵.

Usos: los cereales constituyen la dieta básica de gran parte de la Humanidad (arroz: *Oryza sativa*; maíz: *Zea mays*; trigo: *Triticum sp.pl.*, sorgo: *Sorghum bicolor*; centeno: *Secale cereale*, etc.); también son importantes en alimentación animal (maíz; cebada: *Hordeum vulgare*), por los productos que se obtienen de fermentaciones alcohólicas (cebada: cerveza, whisky; arroz: sake), como oleaginosas (maíz), producción de azúcar (caña de azúcar: *Saccharum officinarum*) e incluso en construcción (bambú: *Bambusa sp.pl.*)²⁵.

4.2. *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus*

Cymbopogon citratus descrita por primera vez por Otto Stapf en 1906, es una especie de hierba perteneciente a el Reino *Plantae*, el Phylum *Magnoliophyta*, la Clase *Liliopsida*, el Orden *Poales*, la Familia *Poaceae*, el Género *Cymbopogon* y la Especie *citratus*²⁶.

A partir de ella se obtiene el aceite esencial denominado Lemongrass, es una planta muy usada como repelente de insectos, particularmente mosquitos, pese a este efecto repelente es atrayente de las abejas, por lo que se utiliza para recuperar enjambres, los componentes activos principales de su extracto son el geraniol y citronelol, los cuales son antisépticos y le confieren propiedades fungistáticas e incluso bactericidas. La cantidad de aceite esencial de planta varía de mes en mes en el año, siendo los meses de junio, julio y agosto los que más aceite esencial produce la planta. Esto se debe principalmente a que el calor y el sol de estos meses hacen que la planta acumule más aceite esencial, mientras que en épocas más húmedas el rendimiento de aceite disminuye²⁷.

Se ha utilizado para varios aspectos de la vida cotidiana tanto farmacéuticos como gastronómico algunos de estos beneficios son antihipertensivo, antiespasmódico, antiasmático y sus hojas al tener un marcado y agradable sabor a limón, suelen picarse finamente para mezclarse en ensaladas, mayonesas, salsa blanca para usarse en platillos a base de aves y cerdo²⁷.

Es una gramínea que alcanza hasta 2.0 m de altura. La planta crece en macollos compactos, formados por muchos tallos cortos que salen de rizomas pequeños. Las hojas tienen entre 30 y 100 cm de largo y 1.0 a 1.5 cm de ancho, con bordes duros y el nervio central fuerte. La parte utilizable por la industria está constituida por las hojas y los tallos tiernos. Crece adecuadamente en una gama de suelos, pero, su mayor productividad se da en los suelos fértiles de textura media a ligera (franco a franco arenoso) y con buena capacidad retentiva de agua. En los suelos arenosos se tiene mayor producción de follaje, pero menor aceite esencial. No tolera las condiciones de mal drenaje. Desarrolla bien en zonas con temperatura media entre 22 y 28° C. Se encuentra en áreas con precipitaciones pluviales en el rango de 1,500 a 4,000 mm/año con lluvias bien distribuidas²⁸.

Hay que identificar las plantas que tengan el mayor contenido de aceite esencial y propagarlas para obtener las semillas necesarias. La siembra se puede efectuar al inicio de la estación de lluvias, con distanciamientos de 60 a 120 cm entre filas y 45 a 90 cm entre plantas, densidad de 20,000 plantas por hectárea. Donde el contenido de aceite en la hierba fresca está alrededor de 0.2 a 0.4 %²⁸. (Imagen 1)



Imagen 1: *Cymbopogon citratus* tomada de Emerald coast growers, 2019⁶⁰

En el caso de la *Cymbopogon nardus* clasificada taxonómicamente del Reino *Plantae*, Phylum *Magnoliophyta*, Clase *Liliopsida*, Orden *Poales*, Familia *Poaceae*, Género *Cymbopogon*, Especie *nardus*. descrita por primera vez por Alfred Rendle en su

catálogo de plantas africanas de 1853, perteneciente a la familia Poaceae cuyo nombre proviene del griego Kumbe (barco) y pogon (barba), refiriéndose a las muchas aristas y espigas parecidas a un barco para el *Cymbopogon*. y *nardus* por su parecido a las plantas de género *nardus*, también es conocida con los nombres pasto de limón, pasto citronella, zacate de limón, hierba limón; esta planta se ha utilizado popularmente para ahuyentar mosquitos y como insecticida industrial, además de tener propiedades carminativas lo que quiere decir que funciona para la reducción de gases en tubo digestivo reduciendo de esta manera los cólicos y las flatulencias, igualmente propiedades antifúngicas, antibacterianas y para el control de plagas²⁹.

Se trata de plantas herbáceas perennes, sempervirentes, originarias de los países tropicales de Asia sudeste donde esta puede alcanzar una altura de hasta dos metros y sus hojas son largas, anchas y lisas. El fuste está rígido, erguido que lleva hojas lineares, de consistencia casi de papel y de un bonito color verde intenso azulado y pendientes hacia abajo (recuerdan los *Chlorophytum*) y ambos emanan un agradable perfume de cítricos³⁰. Las hojas, cuyo principal componente, y al que debe sus aplicaciones, es un aceite esencial, líquido amarillo o amarillo parduzco que en contacto con el aire toma una coloración verdosa. El olor recuerda al del limón³⁰. (Imagen 2)



Imagen 2: *Cymbopogon nardus* tomada de Aromaweb.eu, 2019⁶¹

4.3. Aceites esenciales

Dado que el término de Aceites Esenciales se ha visto popularizado en estos años se debe realizar una pequeña definición de éste para comprender como será utilizado, tomando la definición por parte de Minami, K, perteneciente al Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de São Paulo, “Los aceites esenciales son mezclas de sustancias orgánicas volátiles, pertenecientes a diferentes clases de compuestos, ej. hidrocarburos, ésteres, alcoholes, aldehídos, algunos ácidos, fenoles y sus derivados, lactonas, etc.; todos, son productos de largas cadenas de biosíntesis vegetal, los llamados metabolitos secundarios de las plantas.”³¹.

Estos aceites pueden ser originarios de diversos organismos ya sean flores, raíces, frutos, hojas o semillas. Estos al ser de origen natural presentan características más amigables con el medio ambiente ya que no contienen sustancias químicas nocivas para la naturaleza ni para las personas que las consuman, de esta forma se ha buscado expandir su utilización para disminuir el consumo de productos químicos que deterioran tanto el ambiente como la salud de las personas que lo consumen³².

4.4. Clasificación de los aceites esenciales

Según su consistencia:

- 1 - Esencias fluidas: Son líquidos volátiles a temperatura ambiente.
- 2 - Bálsamos: Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización.
- 3 - Oleorresinas: Tienen el aroma de las plantas en forma concentrada, son típicamente líquidos y muy viscosos³³.

Según su origen:

- 1 - Aceites naturales: Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas debido a su bajo rendimiento. Este tipo son los denominados aceites esenciales de aromaterapia (puros).
- 2 - Aceites artificiales: Los artificiales se obtienen gracias a procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o más de sus componentes. Estos aceites no tienen las propiedades beneficiosas de los aceites puros.

3 - Aceites sintéticos: Son los producidos por la combinación de sus componentes, en la mayoría de los casos son producidos por procesos de síntesis química³³.

Según su naturaleza química:

1 - Compuestos alifáticos de bajo peso molecular: Alcanos, alcohol, cetonas, ésteres y ácidos.

2 - Mono-terpenoides: Son los aceites esenciales ricos en mono-terpenos.

3 - Sesquiterpenoides: Son los aceites esenciales ricos en sesquiterpenos.

4 - Fenilpropanoides: Son los aceites esenciales ricos en fenil-propano.

4.5. Características de los aceites esenciales

Los aceites esenciales, en general, constituyen del 0,1 al 1% del peso seco de la planta. Son líquidos con escasa solubilidad en agua, solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos. Cuando están frescos, a temperatura ambiente, son incoloros, ya que al oxidarse se resinifican y toman un color amarillento oscuro (lo que se previene depositándolos en recipientes de vidrio de color topacio, totalmente llenos y cerrados perfectamente). La mayoría de los aceites son menos densos que el agua (salvo excepciones como los aceites esenciales de canela, sazafrán y clavo) y con un alto índice de refracción.

La acción antiséptica, aunque no antibiótica, se manifiesta frente a un gran número de bacterias patógenas e incluye ciertas cepas antibiorresistentes. Algunos aceites son también activos frente a hongos inferiores responsables de micosis e incluso frente a levaduras (Cándida). Compuestos como el citral, geraniol, linalol o timol muestran un poder antiséptico muy superior al del fenol³⁴.

4.6. Composición de los aceites esenciales de *Cymbopogon citratus* y *Cymbopogon nardus*

El aceite esencial de *Cymbopogon citratus* posee unos componentes activos los cuales principalmente son²⁸:

- Citral: antibacterial (75-85%), antihistamínico, fungicida, expectorante, anticancerígeno.
- Linalol: antibacterial, antiinflamatorio, antiespasmódico, hepatoprotector.
- Canfeno: antioxidante, expectorante
- Cineol
- Terpineol: antiasmático, antibacterial, antitusivo, expectorante
- Cariofileo: antiinflamatorio, antiasmático, antibacterial, antitumoral
- Limoneno: antibacterial, anticancerígeno, antiespasmódico, expectorante
- Furocumarinas
- Verbenona
- Flavonoides

Por su parte Nadjib, M. con sus colaboradores. en el artículo "Aceite esencial de hierba de limón (*Cymbopogon citratus*) como un potente fármaco antiinflamatorio y antimicótico", demuestra "el potencial antifúngico del aceite en fases líquidas y de vapor contra diferentes levaduras y hongos filamentosos se determinó mediante la difusión de discos y los métodos de volatilización de discos"³⁵; Así mismo Akono, P. junto a sus colaboradores, en el artículo Actividad de los aceites esenciales *Ocimum basilicum* , *Ocimum canum* y *Cymbopogon citratus* contra *Plasmodium falciparum* y larvas en etapa madura de *Anopheles funestus* ss. demuestran la actividad antiplasmodial in vitro contra *Plasmodium falciparum* y larvas en etapa madura de *Anopheles funestus*³⁶. y Tyagir, A y sus colaboradores. en el artículo Actividades antifúngicas líquidas y en fase de vapor de aceites esenciales seleccionados contra *Cándida albicans*: observaciones microscópicas y caracterización química de *cymbopogon citratus* hablan de la acción de controlar el crecimiento de *Cándida albicans* ha ganado importancia debido a la resistencia adquirida por los patógenos a una serie de fármacos de uso generalizado³⁷.

El aceite esencial de *Cymbopogon nardus* posee unos componentes activos los cuales principalmente son^{38,39}:

- Citronelal (5% a 15%).
- Geraniol (18% a 20%)
- Limoneno (9% a 11%)
- Canfeno

- Dipenteno
- Isoeugenol de metilo (7% a 11%)
- Citronelol (6% a 8%)
- Borneol
- Neral
- Metileugenol

Para el caso de A. Muñoz, y colaboradores en su artículo “Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti*” en el año 2014 demuestran como el *Cymbopogon nardus* tiene la capacidad de eliminar las formas adultas del *Aedes Aegypti*, exponiendo a los mosquitos al aceite en cuestión⁴⁰. Por parte de Mansour y colaboradores en el artículo Biocidas botánicos. “Actividad mosquitocida de ciertos constituyentes del *Thymus capitatus*” para la revista de toxinas naturales expone de forma breve como este aceite esencial posee un efecto larvicida y mosquicida⁴¹; Por último la capacidad insecticida fue determinada por Jiang y colaboradores en el año 2010 donde presentan que el aceite tiene una potente capacidad tóxica frente al parásito *Trichoplusia ni*. tanto en su forma adulta como larvática, además de evaluar que no deja residuos tóxicos que puedan afectar al consumidor⁴².

Retomando a los aceites esenciales, el funcionamiento de éstos al momento de actuar como agentes antimicrobianos puede ser muy variado, ya que su mecanismo de acción puede presentarse en varias formas y momentos para afectar al microorganismo ya sea en su composición celular o en algún proceso metabólico importante.

Uno de estos mecanismos utilizados por aceites esenciales es el uso de hidrocarburos que se forman mediante la combinación de varias unidades de isopreno en especial los monoterpenos y sesquiterpenos naturales los cuales actúan contra gran variedad de hongos en especial en enfermedades dérmicas, esto descrito por A. Martínez y colaboradores de la facultad de química farmacéutica de la Universidad de Antioquia en su documento referente a los aceites esenciales⁴³.

Algunos mecanismos se presentan cuando hay baja cantidad de aceite esencial presente en el medio como puede ser la interrupción del quorum sensing como fue

descrito por T. Olivero en su artículo “Actividad anti quorum sensing de aceites esenciales aislados de diferentes especies del género *Piper*” donde demostró que debido a la densidad y componentes del aceite es capaz de disolver y separar los enlaces que existen entre las bacterias⁴⁴.

Para el caso Según Sikkema, y colaboradores en su trabajo de Interacciones de hidrocarburos cíclicos con membranas biológicas. muestran como los aceites esenciales gracias a sus compuestos fenólicos son capaces de acumularse en la membrana citoplasmática e inhibir las propiedades funcionales de la célula provocando daños, lo que generará que esta barrera se debilite hasta su posterior muerte celular⁴⁵.

Los aceites también son capaces de afectar la síntesis de proteínas como lo expuso A. García en su artículo “Metabolismo secundario de plantas” en el cual habla de que algunos aceites gracias a sus diferentes componentes alteran todo el sistema celular interrumpiendo así la síntesis de proteínas de muchas bacterias y hongos⁴⁶.

Por último, los aceites esenciales gracias a sus compuestos fenólicos son capaces de interrumpir en la membrana celular interfiriendo con la energía celular en el sistema de generación de ATP e interrumpir la fuerza motriz de protones, con la permeabilidad alterada de la membrana citoplasmática se puede provocar la muerte celular como lo demostró F. Argote en su trabajo “Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*”²².

5. Metodología

Las plantas se obtuvieron de la plaza Samper Mendoza por parte de comerciantes traídas de la sabana de Bogotá con un precio que ronda de 1 a 2 dólares el kilo de material fresco.

5.1 Diseño metodológico

- Enfoque de la investigación: Mixta
- Naturaleza del estudio o investigación: Exploratoria
- Población: plantas extraídas de la sabana de Bogotá Citronela (*Cymbopogon nardus*) y Limonaria (*Cymbopogon citratus*).
- Muestra: Aceites esenciales extraídos de las plantas Citronela (*Cymbopogon nardus*) y Limonaria (*Cymbopogon citratus*) como un posible antimicrobiano para productos agrícolas
- Variables: Independiente: Aceites esenciales de las plantas Citronela (*Cymbopogon nardus*) y Limonaria (*Cymbopogon citratus*).
- Dependiente: Potencial de antimicrobiano

5.2. Certificación del material vegetal:

Se realizó con el objetivo de garantizar que la planta con la que se está trabajando es la indicada en cuanto a género, especie y subespecie y así evitar cualquier error en la obtención del aceite esencial

La certificación se realizó en el herbario de la universidad Nacional de Colombia (Anexo 1)

5.3. Extracción y rendimiento de los Aceites esenciales:

La extracción se realizó en el grupo de productos y extractos vegetales de la Universidad Nacional de Colombia, a partir de 1.5 Kg del material vegetal fresco de las especies vegetales, en tres repeticiones (Anexo 2) diferentes las cuales se sometieron al procedimiento de destilación por arrastre con vapor, se selecciona

como método de extracción ya que brinda mayores ventajas que otras metodologías (Tabla 1 y tabla 2) como la economía del vapor de agua en comparación con otros solventes orgánicos, asegura un producto de buena calidad y que para su proceso no es necesario la utilización de equipos de alta complejidad⁵⁴. Se realizó en un equipo de destilación que comprendía un vaso de extracción de 12 litros, una caldera o alambique con una capacidad máxima para 2 kilogramos y una trampa tipo Clavenger para la recolección y separación de los aceites esenciales por un tiempo de 3 horas cada extracción y conservados con sulfato de sodio (Na_2SO_4)⁴⁷.

VENTAJAS DE LOS METODOS DE EXTRACCIÓN	
EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR	<ul style="list-style-type: none"> • La extracción por arrastre de vapor es un proceso de extracción muy limpio que asegura un producto de buena calidad. • Se requiere de instalaciones básicas de herrería para el equipo. • Método industrial y de laboratorio. • Buenos rendimientos en aceite extraído. • Obtención del aceite puro, libre de solvente. • Bajo costo. • Tecnología no sofisticada. • Aplicación de principios de ingeniería Mecánica y Química.
HIDRODESTILACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de un calderín generador de vapor. • Son muy utilizados en el campo. • Son fáciles de instalar, se pueden llevar de un sitio a otro. • Son baratos. • Seguros, fáciles de operar y presentan un consumo energético bajo.
EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento. • Ecológicamente limpio. • Fácil retiro y reciclaje del solvente. • Bajas temperaturas de extracción. • No hay alteración química del aceite. • Cambiando parámetros operacionales se puede cambiar la composición del aceite extraído.
EXTRACCIÓN POR PRENSADO	<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología bien conocida hace años pero todavía tiene sus detalles y secretos.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de temperaturas bajas • posibilidad de extracción de compuestos individuales

Tabla 1 (ventajas de los métodos de extracción de aceites esenciales⁵⁴.)

DESVENTAJAS DE LOS METODOS DE EXTRACCIÓN	
EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR	<ul style="list-style-type: none"> • Los aceites producidos son más coloreados. • Tienden a presentar un cierto olor a quemado • Siempre van a requerir una etapa posterior de refinación.
HIDRODESTILACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Los aceites producidos son más coloreados. • Tienden a presentar un cierto olor a quemado • Siempre van a requerir una etapa posterior de refinación.
EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. • Alta inversión inicial.
EXTRACCIÓN POR PRENSADO	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el aceite sale de la prensada todavía tiene muchas impurezas que deben ser eliminadas • La mezcla detritos-agua-aceite se centrifuga a 5000 rpm durante 40 minutos y el aceite esencial recuperado se coloca en una nevera a 3°C durante 4 horas, para solidificar gomas y ceras que se localizan en la superficie.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso. • Contaminante del ambiente. • Riesgo de incendio y explosión. • Difícil de separar completamente el solvente sin alterar la composición del aceite. • Co-extracción de ácidos grasos, ceras y pigmentos.

Tabla 2 (Desventajas de los métodos de extracción de aceites esenciales⁵⁴.)

El rendimiento de los aceites esenciales con respecto a su biomasa vegetal, se calculó por medio de la fórmula por cada repetición:

$$\%rendimiento = \frac{ml\ DE\ AE}{PESO\ g\ M.V.} * 100$$

Donde, mL de AE son los mililitros de AE obtenidos y Peso en gramos del material vegetal corresponde al peso en gramos (g) del material vegetal fresco⁴⁷.

5.4. Cromatografía Gases-Masas (GC-MS):

Los aceites esenciales se analizaron por GC-MS en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC2010, en la Pontificia Universidad Javeriana, Laboratorio de Cromatografía el cual aportó el equipo y los materiales para el análisis de los aceites procesados, cada uno con tres repeticiones con el fin de generar un promedio con el cual trabajar (Anexo 3 y Anexo 4), mediante la utilización de un inyector split/splitless acoplado a un detector selectivo de masas MS/GCTQ8040, modo de ionización IE, analizador de masas triple cuádruplo y dos sistemas de separación. El primero empleó una columna apolar RTX-5MS (60 m x 0.25 mm x 0.25 µm) bajo las siguientes condiciones de operación: El gas de arrastre fue helio a un flujo de 1.5 mL/min. La temperatura del horno se programó desde 40 °C (2 min) hasta 125 °C (2 min) a 4 °C/min, luego se incrementó hasta 160 °C (5 min) a 4 °C/min, posteriormente se aumentó hasta 220 °C (8 min) a 5 °C/min y finalmente la temperatura aumentó a 280 °C (4 min) a 5 °C/min. La temperatura en el puerto de inyección fue de 250 °C y la de la línea de transferencia de 290 °C, la relación de *split* 1:20 y el voltaje de ionización fue de 70 eV a una corriente de 60 µA. La adquisición de los espectros de masas se realizó en un rango de masas entre 30-600 m/z. El segundo sistema de separación fue una columna polar DB-WAX (60 m×0.25 mm×0.25 µm) operado bajo las mismas condiciones excepto por la programación de la temperatura del horno que fue de la siguiente forma: 45 °C (4 min) hasta 250 °C (8 min) a 4 °C/min. Se inyectó 1.0 µL de cada solución analizada. Dilución 1/40 (25 ul aceite a 1.0 ml utilizando hexano como diluyente)⁴⁸.

La identificación de los compuestos se basó en la comparación de los índices de retención (IR) y sus espectros de masas con los reportados en las librerías NIST08, Wiley9L, Pherobase y en Adams (Adams, 2007). Los índices de refracción se calcularon teniendo en cuenta los tiempos de retención de una serie homóloga de n-alcenos (C8 – C28), corridos bajo las mismas condiciones de análisis cromatográficas que el aceite esencial. La integración de la corriente iónica total, expresada en porcentaje de área, se utilizó como un parámetro aproximado para determinar la composición relativa del aceite⁴⁸.

5.5. Características físico químicas.

5.5.1. Densidad relativa del aceite esencial 20° C:

Se empleó el método oficial AOAC 920.212:1995; la norma ISO 279:1998 exige su medición. Se utilizó un picnómetro limpio y seco de 1.0 mL de capacidad, el cual se pesó vacío en una balanza electrónica de cuatro decimales hasta que se obtuvo un peso constante; seguidamente se llenó con 1.0 mL del aceite esencial para cada una de las tres repeticiones realizadas (Anexo 5), se tapó y se limpió el exceso de muestra. Luego, se pesó el conjunto y por diferencia de pesos se determinó la densidad relativa del AE empleando la ecuación, cada evaluación se realizó por triplicado⁴⁹:

$$\text{Densidad } \rho \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{(\text{peso picnómetro+muestra})-(\text{peso picnómetro}) (g)}{\text{Vol.AE en mL}}$$

5.5.2. Índice de refracción del aceite esencial:

Para el índice de refracción se utilizó el método oficial AOAC 921.08:1995 (AOAC, 1990). La prueba fue realizada utilizando un refractómetro marca Sper Scientific; previo a la determinación se limpió el prisma del refractómetro con etanol y agua destilada. Con la ayuda de una pipeta automática se colocan 50 uL de muestra por repetición (Anexo 5) en el prisma del AE a 20 °C, cada evaluación se realizó por duplicado⁵⁰.

5.5.3 Índice de retención

Identificación de compuesto mediante índice de retención : El índice de retención describe el comportamiento de retención de un compuesto de interés comparativamente al de una mezcla de hidrocarburos saturados, alcanos, de diferentes números de carbono, este fue calculado por cada repetición (Anexo 3 y Anexo 4) gracias a la ecuación⁵¹:

$$\text{Índice de retención (IR)} = \frac{100[(\log t' Rx) - (\log t' Rz)]}{(\log t' Rz+1) - (\log t' Rz)}$$

X: es el compuesto de interés

t'RX: es el tiempo de retención ajustado de X

Z: es el número de átomos de carbonos del alcano con tiempo de retención inmediatamente inferior al de X

t'RZ: es el tiempo de retención ajustado de Z

t'RZ + 1: es el tiempo de retención ajustado del alcano con tiempo de retención inmediatamente superior al de Z.

5.5.4 Utilización de software

Se realizó la utilización de software de bases de datos Nist el cual funciona como un atlas biológico virtual que permite encontrar sinónimos a diferentes compuestos que puedan parecer complejos para ser utilizados de una manera más entendible y fácil de representar; Además se utilizó en su mayoría los índices de retención del Atlas "Identificación de Aceites esenciales Adams" para la recopilación de los índices de retención utilizados en la literatura y posteriormente una mejor identificación de los compuestos.

5.6 correlación bibliográfica

Se realizó la revisión y correlación bibliográfica con diferentes trabajos, artículos y autores acerca de cada uno de los aceites esenciales utilizados en diferentes campos, con el fin de realizar una comparación que evalúe las diferentes características y

capacidades que tienen el aceite de Citronela (*Cymbopogon nardus*) y Limonaria (*Cymbopogon citratus*), así mismo como su potencial antimicrobiano.

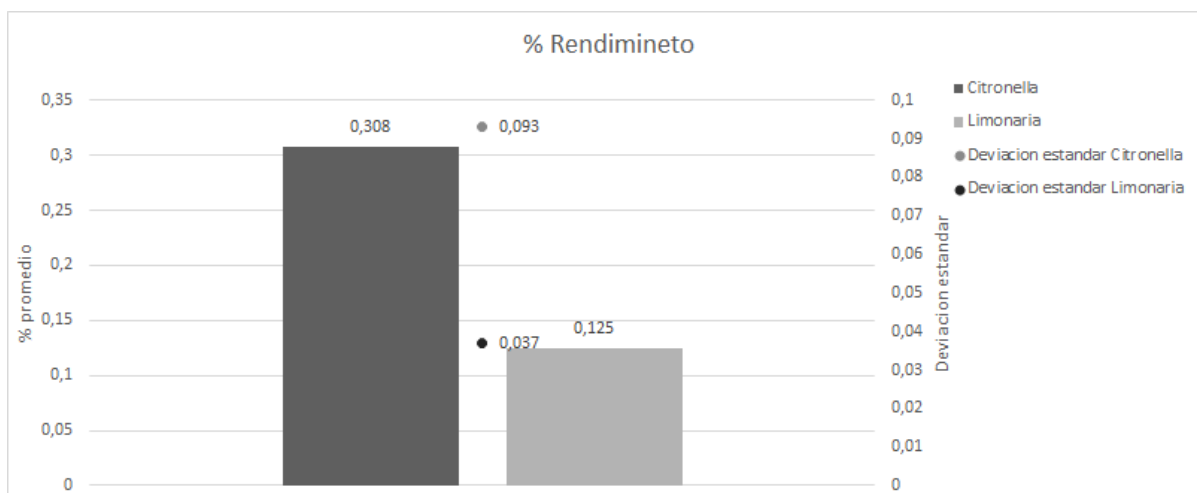
6. Resultados

Ya que son plantas de la misma familia tienen características físicas similares que pueden llegar a confundirse al momento de ser procesadas, por esto se realizó una clasificación taxonómica en el Herbario Nacional, para su diferenciación (Anexo 1), aunque no se alcanzó una clasificación precisa para la especie de Citronela (*Cymbopogon nardus*) se identificó para su posterior procesamiento por saberes populares de las personas que cultivan y proveen esta planta.

Las plantas Citronela (*Cymbopogon nardus*) y Limonaria (*Cymbopogon citratus*) fueron seleccionadas tras una revisión bibliográfica, ya que poseían estudios en los cuales habían sido elegidas para la obtención de aceite esencial con buenos resultados; además estas plantas son de fácil adquisición.

Se realizó la evaluación de los aspectos físicos y químicos de cada planta para determinar el potencial para ser utilizado en gran escala por el sector agrícola mediante diferentes ensayos, en cuanto la caracterización física se habla de rendimiento de la planta, densidad e índice de refracción.

Los aceites fueron destilados por la metodología arrastre de vapor en un equipo de destilación el cual fue proporcionado por la facultad de química de la Universidad Nacional de Colombia, en el cual se utilizó la totalidad de la planta desde el tallo hasta la punta las hojas que en promedio 1595,7 gr de Citronela y 1566,6 gr de Limonaria; estos aceites tuvieron unos porcentajes de rendimiento en las tres repeticiones que se le realizó a cada uno, de igual forma porcentaje de rendimiento promedio, siendo mayor el porcentaje promedio de rendimiento de Citronela con un 0,308% y el de limonaria con un porcentaje promedio de 0,125%; con una desviación estándar de 0,093 y 0,125 respectivamente, en cuanto los porcentajes promedios de rendimiento se tiene una diferencia de 0,183% entre los dos aceites esenciales (Gráfica 1)



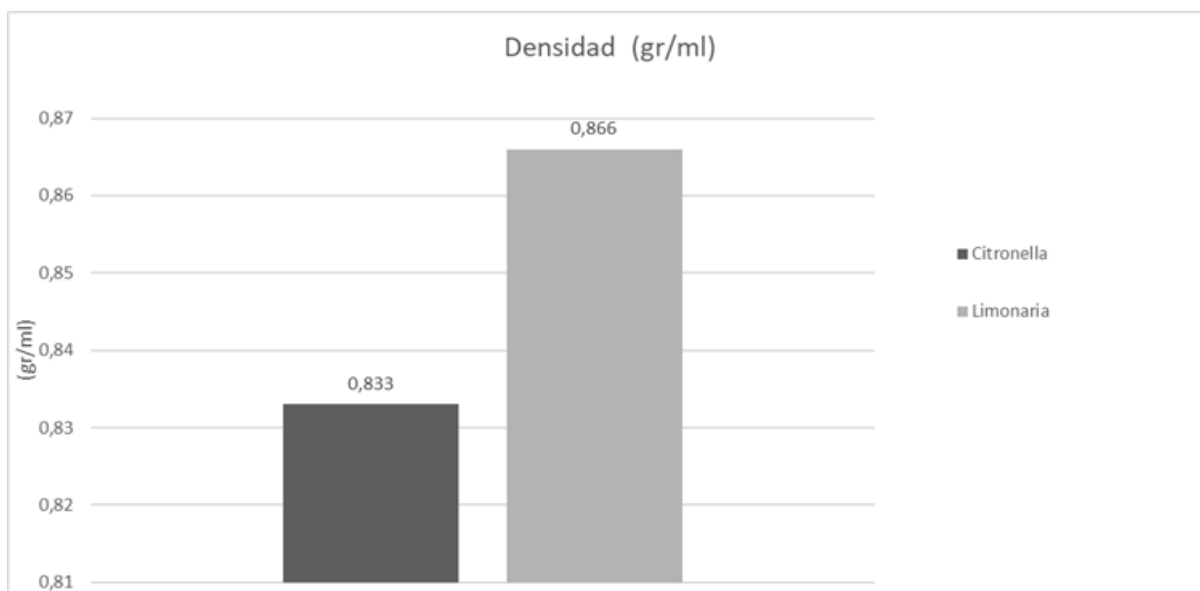
Gráfica 1 (Porcentaje promedio del rendimiento de la extracción de aceites esenciales de citronela y limonaria)

Así mismo, se comparó el rendimiento obtenido del aceite procesado con el rendimiento del aceite de otros autores con el propósito de evaluar si el rendimiento obtenido fue similar al obtenido por éstos (Tabla 3).

Citronela					
Rendimiento					
Aceite procesado	Rodriguez Wilson (2006)	Rodriguez Raul (2012)	Olivares M (2013)	Muñoz Jazmín (2014)	Villacrés Yesenia (2018)
0,3	0,5	0,46	1,06	0,4	1,25
Limonaria					
Rendimiento					
Aceite procesado	Antolinez Juan (2008)	Mendoza Dary (2010)	Rodriguez Raul (2012)	Muñoz Jazmín (2014)	Villacrés Yesenia (2018)
0,12	0,52	1,2	0,46	0,5	1,74

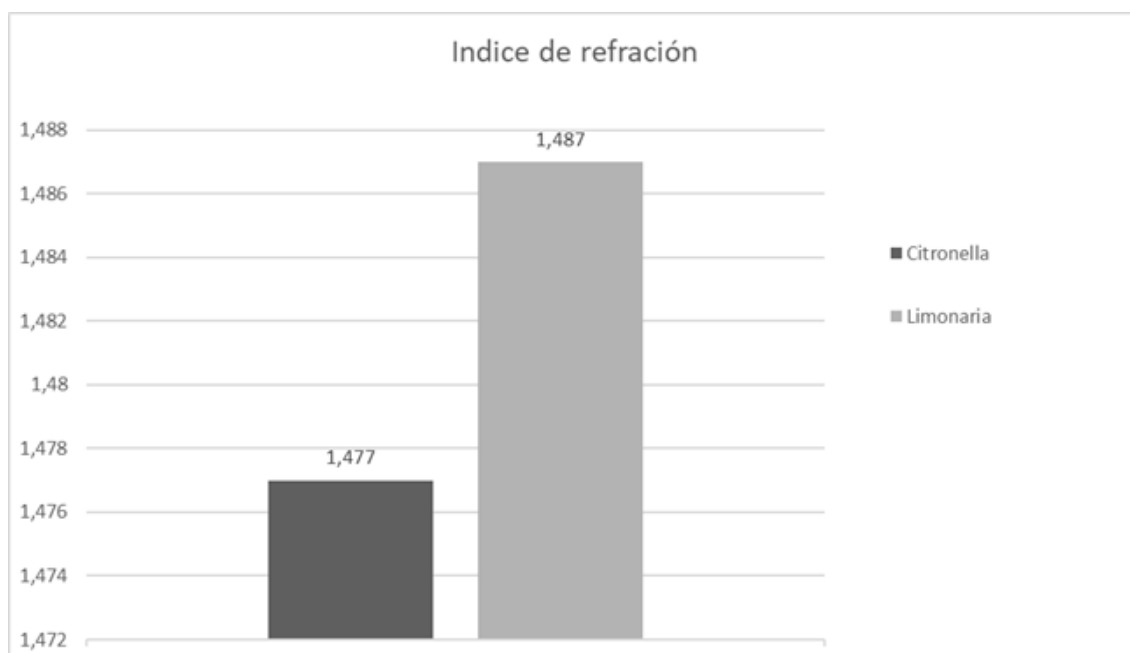
Tabla 3 (Comparación de rendimiento entre autores y aceite procesado de Citronela y Limonaria)

En cuanto la densidad de los aceites se utilizó la técnica de picnometría con la cual se obtuvo la densidad de cada aceite, estos tuvieron una densidad promedio de 0,866 g/ml para el aceite extraído de limonaria y 0,833 g/ml para el aceite extraído de citronela. (Gráfica 2)



Gráfica 2 (Densidad promedio de los aceites de citronela y limonaria)

Por último, en cuanto las propiedades físicas, los índices de refracción adquiridos por la metodología AOAC 921.08:1995 (AOAC, 1990) del aceite extraído de cada planta, las cuales dieron índices de refracción promedio de 1,477 para el aceite esencial de citronela y 1,487 para el aceite esencial de limonaria, con una diferencia de 0,010. (Gráfica 3)



Gráfica 3 (Índice de refracción promedio de los aceites esenciales de citronela y Limonaria)

En cuanto la parte química de los aceites extraídos de las plantas se analizaron por medio de la cromatografía gases masas (GC-MS) en una columna RTX-5MS la cual fue aportada por la Pontificia Universidad Javeriana, en la cual se obtuvieron los compuestos químicos de los aceites esenciales. Para este ensayo se realizaron tres repeticiones para cada aceite esencial en las cuales se obtuvieron diferentes resultados, entre ellos está el total de los compuestos que conforman los aceites, el tiempo de retención y porcentaje de área que abarcaba el total del aceite esencial, además de los compuestos más relevantes en los aceites extraídos.

Para la obtención del promedio total de los compuestos se descartaron otros compuestos remanentes de la columna RTX-5MS. Para el aceite esencial de Citronela se obtuvo un promedio de 118 compuestos que abarcan un porcentaje de área promedio de 98 % del total del aceite extraído, por parte del aceite esencial de Limonaria se obtuvo un promedio de 131 compuestos que dan un porcentaje promedio de área de 95% del total del aceite extraído.

A partir de este punto se toman los compuestos que en promedio por las tres repeticiones tienen un porcentaje de área promedio el cual refleja el porcentaje que el compuesto abarca en la totalidad del aceite esencial, mayor al 1% del total del aceite debido a que son los compuestos más abundantes que le brindan a las plantas sus principales propiedades. Para la clasificación se tuvo en cuenta el tiempo de retención que consiste en el tiempo que dura el compuesto en la columna para ser leído.. (Tabla 4 y Tabla 5)

Compuesto	Promedio TR	Promedio IR	IR literatura	Promedio %Area
Germacreno D-4-ol	42,290	1592,760	1582	2,21%
α -Citronelol	42,020	1247,952	1211	4,60%
Elemol	41,060	1565,298	1547	2,84%
Cariofileno	35,470	1435,429	1444	1,95%
Acetato de geranil	33,650	1390,667	1381	4,54%
Acetato de citronelol	32,410	1358,100	1320	1,65%
α -Cadinol	29,940	1664,501	1653	1,94%
α -Citral	29,840	1291,310	1264	5,79%
Palmitato de geranil	29,520	1280,059	1298	2,88%
Geraniol	28,920	1483,292	1252	16,13%
β -Citral	28,300	1254,148	1238	6,39%
Citronelol	27,790	1241,026	1225	5,91%
Isogeranial	25,460	1185,518	1183	1,52%
Citronelal	24,300	1157,004	1153	8,12%
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	24,130	1152,879	1146,8	2,08%
Linalool	22,120	1103,553	1098	1,37%
D-Limoneno	19,410	1035,309	1029	3,77%
Total compuestos relevantes				73,69%
Otros				26,31%
Total				100,00%

Tabla 4 (Compuestos del aceite procesado de Citronela)

Compuesto	Promedio TR	Promedio IR	IR literatura	Promedio %Area
Cariofileno	35,430	1434,532	1422	1,59%
Anisol	30,430	1305,842	1381	1,99%
Fenol	30,420	1305,579	1349	1,18%
Triailo Fosfato	29,840	1291,135	1137,2	1,20%
Citral	29,430	1282,253	1235	9,65%
Geraniol	29,040	1272,079	1252	2,10%
β -Citral	28,430	1257,255	1238	10,18%
Ciclohexanona	28,320	1254,565	1237	2,84%
Mentol	25,868	1195,369	1182	1,36%
Isogeranial	25,520	1187,029	1183	4,20%
L-Mentona	25,040	1175,153	1152	1,72%
Isoneral	24,720	1167,459	1164	2,93%
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	23,860	1146,263	1146,8	1,81%
Linalool	22,060	1102,263	1096	1,25%
β -Mirceno	17,850	995,983	990	8,72%
Total compuestos relevantes				52,72%
Otros				47,28%
Total				100,00%

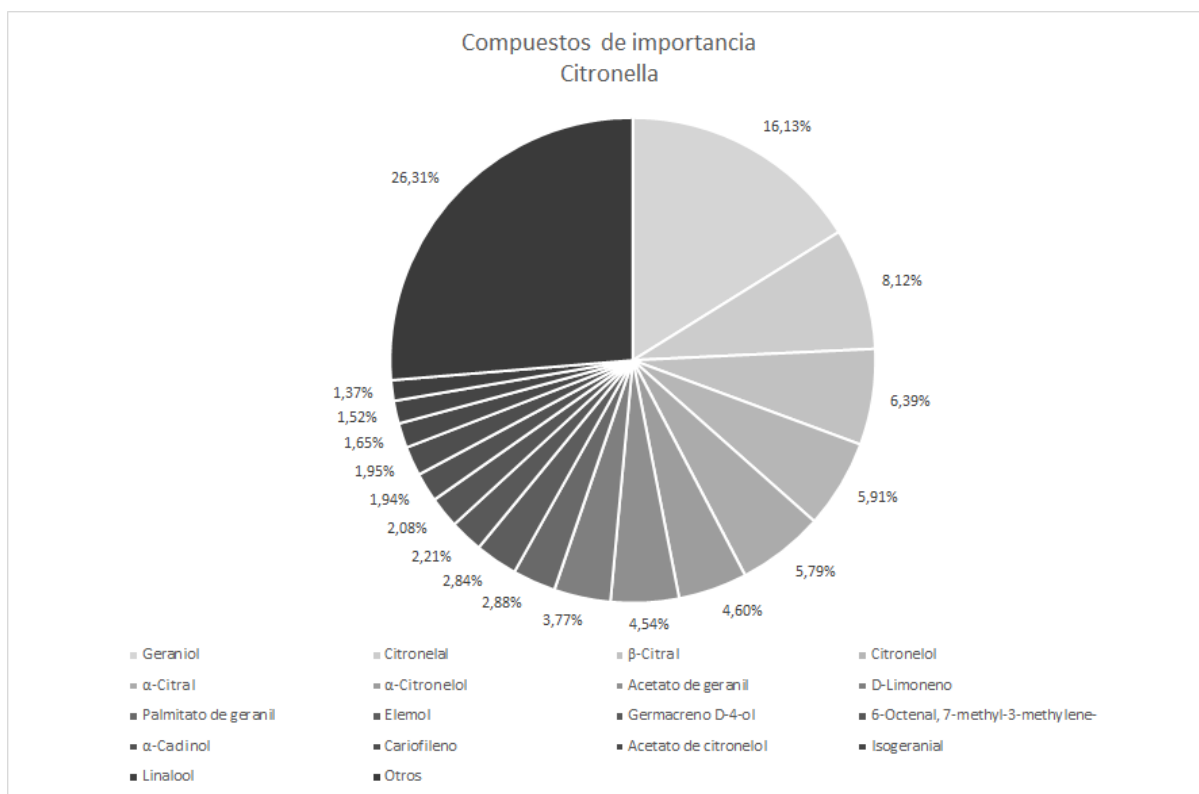
Tabla 5 (Compuestos del aceite procesado de Limonaria)

El aceite esencial extraído de Citronela tiene un promedio de 17 compuestos que superan el 1% del porcentaje de área (Tabla 4)(Gráfica 4), con un promedio total de 73,69% siendo el más abundante el compuesto Geraniol con un porcentaje de 16,13% (Tabla 6), por parte de los tiempos de retención se manejan tiempos de retención

promedios de 19,410 hasta 42,29 siendo el compuesto que más tiempo duro y tiene el pico más alto el Germacreno D-4-ol con un tiempo de retención promedio de 42,29. (Tabla 4).

Compuesto	Promedio %Area
Geraniol	16,13%
Citronelal	8,12%
β -Citral	6,39%
Citronelol	5,91%
α -Citral	5,79%
α -Citronelol	4,60%
Acetato de geranil	4,54%
D-Limoneno	3,77%
Palmitato de geranil	2,88%
Elemol	2,84%
Germacreno D-4-ol	2,21%
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	2,08%
α -Cadinol	1,94%
Cariofileno	1,95%
Acetato de citronelol	1,65%
Isogeranial	1,52%
Linalool	1,37%
Total compuestos relevantes	73,69%
Otros	26,31%
Total	100,00%

Tabla 6 (Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Citronela)

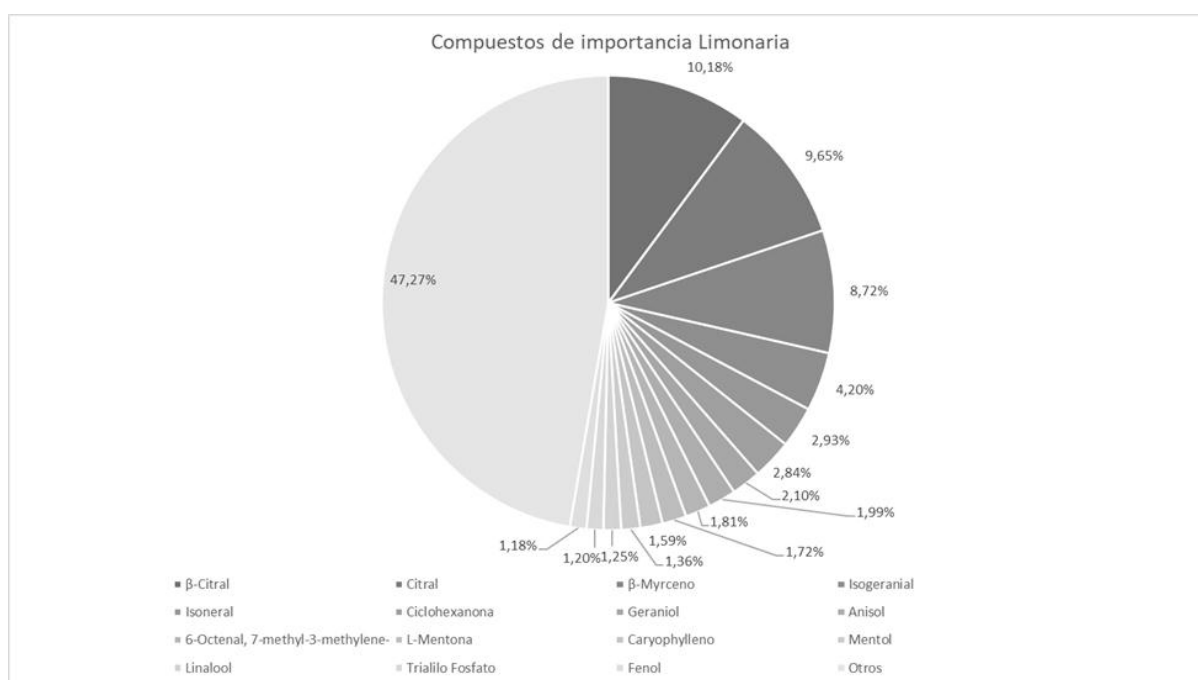


Gráfica 4 (Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Citronella)

Por otro lado, el aceite esencial extraído de Limonaria tiene un promedio de 15 compuestos que superan el 1% del porcentaje de área total (Tabla 5) (Gráfica 5), con un promedio total de 52,72% siendo β-Citral el compuesto más abundante con un porcentaje de 10,18%. (Tabla 7).

Compuesto	Promedio %Area
β -Citral	10,18%
Citral	9,65%
β -Myrceno	8,72%
Isogeranial	4,20%
Isoneral	2,93%
Ciclohexanona	2,84%
Geraniol	2,10%
Anisol	1,99%
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	1,81%
L-Mentona	1,72%
Caryophylleno	1,59%
Mentol	1,36%
Linalool	1,25%
Triaillo Fosfato	1,20%
Fenol	1,18%
Total compuestos relevantes	52,72%
Otros	47,28%
Total	100,00%

Tabla 7 (Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Limonaria)



Gráfica 5 (Promedio de porcentaje de área de los compuestos del aceite extraído de Limonaria)

Los índices de retención fueron obtenidos por el cálculo descrito anteriormente, el cual permite obtener el tiempo de elución de cada compuesto para verificar la presencia en el aceite esencial extraído; empezando por el aceite de citronela el cual posee 17 compuestos cuyos índices de retención varían entre 1035 y 1665 (Tabla 8) y para el aceite esencial extraído de Limonaria el cual posee 15 compuestos cuyos índices de retención que varían entre 995 y 1435 (Tabla 9) donde se comparan los índices de retención obtenidos con los índices de retención de literatura, los cuales muestran si este compuesto ha sido identificado anteriormente y ha sido estipulado este índice para aquel compuesto; para este caso se abarca un rango de $\pm 10,00$ unidades de diferencia entre el obtenido y el tomado de la literatura con el fin de corroborar que se trata del mismo compuesto.

Compuesto	Promedio IR	IR literatura
Germacreno D-4-ol	1592,760	1582
α-Citronelol	1247,952	1211
Elemol	1565,298	1547
Cariofileno	1435,429	1444
Acetato de geranil	1390,667	1381
Acetato de citronelol	1358,100	1320
α-Cadinol	1664,501	1653
α-Citral	1291,310	1264
Palmitato de geranil	1280,059	1298
Geraniol	1483,292	1252
β-Citral	1254,148	1238
Citronelol	1241,026	1225
Isogeranial	1185,518	1183
Citronelal	1157,004	1153
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	1152,879	1146,8
Linalool	1103,553	1098
D-Limoneno	1035,309	1029

Tabla 8 (Índice de retención de los compuestos del aceite extraído de Citronela)

Compuesto	Promedio IR	IR literatura
Cariofileno	1434,532	1422
Anisol	1305,842	1381
Fenol	1305,579	1349
Triaililo Fosfato	1291,135	1137.2
Citral	1282,253	1235
Geraniol	1272,079	1252
β -Citral	1257,255	1238
Ciclohexanona	1254,565	1237
Mentol	1195,369	1182
Isogeranial	1187,029	1183
L-Mentona	1175,153	1152
Isoneral	1167,459	1164
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	1146,263	1146.8
Linalool	1102,263	1096
β -Mirceno	995,983	990

Tabla 9 (Índice de retención de los compuestos del aceite extraído de Limonaria)

Se realizó la comparación con otros autores acerca de los compuestos obtenidos por ellos y los aceites procesados, con el fin de determinar si en la extracción y la determinación de los compuestos se encontraban los mismos que en la literatura para tener un punto de vista más fiable. (Tabla 10 y Tabla 11)

Citronela					
Promedio % de area					
Compuesto	Aceite procesado	Rodríguez Wilson (2006)	Villacrés Yesenia (2018)	Rodríguez Raúl (2012)	Pineda Werner (2014)
Geraniol	16,13%	14%	44,55%	20,40%	18%
Citronelal	8,12%	26,0%		45,70%	45%
β-Citral	6,39%	1,20%	36,19%		
Citronelol	5,91%	6,10%			
α-Citral	5,79%				
α-Citronelol	4,60%				
Acetato de geranil	4,54%	5,60%		2,60%	3%
D-Limoneno	3,77%				
Palmitato de geranil	2,88%				
Elemol	2,84%	9,90%		4,40%	2%
Germacreno D-4-ol	2,21%	6,50%		3%	
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	2,08%				
α-Cadinol	1,94%				
Cariofileno	1,95%				
Acetato de citronelol	1,65%	3,50%			2%
Isogeranial	1,52%		1,70%		
Linalool	1,37%	0,80%			
Citral		1,70%			
Germacreno		3,30%			
Isoneral			1,70%		
β-Burbuneno		3,30%			
Limoneno		4,10%			2%
τ-Cadinol		1,40%			2%
τ-Muurolol		3%			
δ- Amorfenol		2,50%			
Dihidrofamesal		1,40%			
Eugenol		1,90%			
β -Mirceno		0,10%	14,18%		
Nerol					15%
β – elemeno					2%
Total	73,69%	70,30%	98,32%	76,10%	74%

Tabla 10 (Comparación de los compuestos entre autores y el aceite procesado de citronela)

Limonaria					
Promedio % Area					
Compuesto	Aceite procesado	Rodríguez Wilson (2006)	Mendoza Dary (2010)	Rodríguez Raúl (2012)	Villacrés Yesenia (2018)
β-Citral	10,18%	30,50%	34,90%	32,88%	21,73%
Citral	9,65%	49,70%	41,80%	46,30%	43,13%
β-Myrceno	8,72%	12,20%			
Isogeranial	4,20%				
Isoneral	2,93%				
Ciclohexanona	2,84%				
Geraniol	2,10%	3,10%			18,91%
Anisol	1,99%				
6-Octenal, 7-methyl-3-methylene-	1,81%				
L-Mentona	1,72%				
Caryophylleno	1,59%				
Mentol	1,36%				
Linalool	1,25%	0,80%			
Triaililo Fosfato	1,20%				
Fenol	1,18%				
Citronelol		0,40%			
Total	52,72%	96,30%	76,70%	79,18%	83,77%

Tabla 11 (Comparación de los compuestos entre autores y el aceite procesado de limonaria)

Se realizó el análisis de otros autores que usaron los aceites esenciales contra diversos agentes microbianos con el fin de evaluar los posibles patógenos contra los cuales los aceites procesados en el trabajo tendrían un efecto antimicrobiano en los cultivos agrícolas (Tabla 12 y Tabla 13)

Aceite esencial Citronela		
Autor	Organismos y Microorganismos utilizados	Concentracion
Sánchez Cynthia (2007)	<i>Penicillium sp.</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Helmintosporium sp.</i> <i>Rhizopus sp.</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Corynebacterium sp.</i>	0,03% a 2,5%
Olivero Jesús (2007)	<i>Tribolium castaneum</i>	0,00002 µL/cm a 0,2 µL/cm
Seong Lee (2013)	<i>Edwardsiella spp.</i> <i>Vibrio spp.</i> <i>Aeromonas spp.</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella spp.</i> <i>Flavobacterium spp.</i> <i>Pseudomonas spp.</i> <i>Streptococcus spp.</i>	0,244 µg/ml a 0,977 µg/ml
Aragón Agustín (2014)	<i>Culex quinquefasciatus</i>	0,35 mg/L a 1,28 mg/L
Wagner Raimundo (2014)	<i>Pyricularia grisea</i> <i>Aspergillus spp.</i> <i>Colletotrichum musae</i>	0,05 mg/mL a 1.47 mg/mL

Tabla 12 (Agentes microbianos afectados por el aceite esencial de Citronela)

Autor	Organismos y Microorganismos utilizados	Concentracion
Quintana Eber (2010)	<i>Penicillium chrysogenum</i>	12,5 ppm a 250 ppm
Mendoza Dary (2010)	<i>Dermatophagoides farinae</i>	0,005 µL/mL a 5 µL/mL
Muñoz Jazmín (2014)	<i>Aedes aegypti</i>	64,9 ppm a 1054 ppm
Akono Patrick (2014)	<i>Plasmodium falciparum</i> <i>Anopheles funestus ss</i>	50 ppm a 250 ppm
Fon-Fay Flor (2018)	<i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enteritidis</i> <i>B. subtilis</i> <i>A. niger</i> <i>P. citrinum</i>	0,005 µL/mL a 5 µL/mL

Tabla 13 (Agentes microbianos afectados por el aceite esencial de Limonaria)

7. Discusión

En cuanto la parte física de la extracción del aceite esencial el rendimiento de la planta Citronela tuvo un porcentaje de rendimiento promedio mayor al porcentaje de rendimiento promedio del aceite extraído de Limonaria con una diferencia de 0,183% lo cual indica que la extracción del aceite esencial de Citronela es más efectiva y rentable que la de Limonaria.

Si se comparan los resultados para el rendimiento de la Citronela procesada (Tabla 3), el más elevado es el de Villacrés, que con una diferencia de 0.95 frente a el aceite procesado, para el rendimiento de limonaria el mayor rendimiento fue obtenido igualmente por Villacrés con una diferencia de 1.62 para el aceite procesado, estos cambios pueden deberse a una variación en el método de extracción, las condiciones de las plantas que se usaron para la extracción, como su estado, es decir si era material vegetal fresco, si estaba seco, tenia partes que no se podían utilizar y el lugar de donde se obtuvieron las plantas, ya que podría variar sus condiciones ambientales.

En cuanto a la densidad de los aceites esenciales (Anexo 5) se denota que estos aceites son similares con una diferencia de 0,033 g/ml la cual es una diferencia muy corta y no significativa, dadas las propiedades físicas de los aceites esenciales, estos son líquidos a temperatura ambiente, donde su densidad es inferior a la del agua. La literatura indica que la densidad de los aceites fluctúa entre los rangos 0,7 y 0,95 gramos por ml (g/mL). Los aceites extraídos obtenidos dieron unas densidades de 0,866 g/ml para el aceite extraído de limonaria y 0,833 g/mL para el aceite extraído de citronela, lo cual indica que están entre el rango ideal para ser considerado como un aceite, ya que si esos valores fueran superiores a 1,0 g/ml este se considerará más denso que el agua y no sería catalogado como aceite⁵².

Para el índice de refracción (Anexo 5) de citronela se obtiene un promedio de 1,477 y para el aceite esencial de limonaria 1,487, generando una diferencia de 0,010. El índice de refracción de los aceites esenciales guarda una relación directa con su viscosidad, es importante que para la producción del aceite este cuente con la viscosidad constante⁵³. La literatura indica que en general los Índices de refracción de las sustancias grasas oscilan entre 1.4600 y 1.5000 a más o menos 15 o 20 grados

centígrados, por lo cual los índices de limonaria y citronela entran en este parámetro indicando que la viscosidad es la de un aceite y se clasifica como tal⁵⁴.

Ya para los aspectos químicos el aceite esencial de Citronela tiene alrededor de 118 compuestos y el de Limonaria maneja aproximadamente 135 compuestos, obteniéndose una pequeña diferencia de 17 compuestos sin tener en cuenta los compuestos eliminados por ser parte remanente de la limpieza de la columna, además de reflejar que el aceite de Limonaria es más complejo que el de Citronela.

Se realizaron las comparaciones con los compuestos de un mayor porcentaje de área (Tabla 6 y Tabla 7) promedio >1% ya que son los compuestos que se encuentran en mayor proporción en todo el aceite. Por parte el aceite esencial procesado de Citronela tiene 17 compuestos que superan este 1% y conforman entre ellos el 73,69% de todo el aceite, siendo estos compuestos los más relevantes del aceite y se puedan generar conclusiones que abarquen las capacidades y utilidades que se le puede dar a este; por otra parte el aceite esencial extraído de Limonaria presenta 15 compuestos que superan este 1% y que conforman 52,72% del aceite esencial, por lo cual no se puede generalizar sobre los compuestos, capacidades y funcionalidades del aceite. El aceite de Limonaria al tener un porcentaje mucho menor que el de Citronela con una diferencia de 20,93%, con esto se puede abarcar el aceite de Citronela de forma más concreta.

Según diferentes autores los compuestos más relevantes son los que le otorgan el potencial activo de antimicrobiano para combatir enfermedades de carácter microbiano a las plantas y a los aceites esenciales para ser utilizados como una posible opción de pesticida alternativo y así generar un tipo de cuidado a los cultivos agrícolas.

Los compuestos más representativos del aceite extraído de Citronela (Gráfica 4) son Geraniol, Citronelal y β -Citral con un porcentaje de 16.13%, 8.12% y 6.39% respectivamente, en estos compuestos se observó el mayor potencial para combatir los diferentes microorganismos que atacan a los cultivos agrícolas teniendo diferentes mecanismos de acción. Rodríguez y colaboradores presentan como compuestos primordiales en el aceite esencial de citronela el Citronelal con 26%, Geraniol con

14% y el Elemon un porcentaje de 9.9%, con esto se observa que dos de los tres compuestos más relevantes son los mismos que se obtuvieron en el aceite esencial extraído, es decir geraniol y citronelal, en el aceite esencial procesado el componente Elemol no se encuentra entre los tres compuestos principales o relevantes².

Con los hallazgos de Villacrés y colaboradores en la extracción de aceite esencial de Citronela los principales compuestos encontrados fueron Geraniol y β -Citral con porcentajes de 44.55% y 36.19% respectivamente, en este estudio Villacrés le da una importancia general al Geraniol en su uso como repelente⁵⁸. por otra parte Pineda junto a sus colaboradores exponen que su aceite esencial de Citronela presenta de forma mayoritaria el compuesto Citronelal con un 45% y el Geraniol con un 18%⁵⁹, y que junto con Quintanilla y sus colaboradores también presentan los compuestos Citronelal y Geraniol con un porcentaje de 45,7% y 20,4% respectivamente¹⁰, como los compuestos mayoritarios del aceite de citronela; esto se relaciona con los compuestos más relevantes en el aceite procesado para el proyecto, lo que conlleva a una relación fiable entre el aceite trabajado y el aceite de la literatura.

De igual forma por parte de Molina y colaboradores expresan que el citronelol y geraniol son los componentes activos del aceite extraído de Citronela que le confiere capacidad fungistáticas y bactericidas; por otra parte también se demuestra que el aceite esencial de citronela en concentraciones de 30% y 40% son repelentes 100% efectivos contra *Aedes aegypti*²⁴, por otra parte Alzarte, y colaboradores utilizan el aceite de Citronela con concentración de 350 y 400 mg/L para la eliminación del hongo *Colletotrichum acutatum* inhibiendo en un 90% a las 96 y 168 horas de contacto⁶, por último Sánchez, y colaboradores demostraron la eficacia de los compuestos activos del aceite para el control de *Macrophomina phaseolina* el cual logró controlar su crecimiento tanto in vivo como in vitro gracias a los efectos que el citronelal y el β -Citral ejercen sobre el microorganismo⁴.

Gracias a la comparación con estos autores, se puede decir que el aceite esencial procesado de Citronela al poseer los componentes activos indicados en la literatura podría funcionar y ser utilizado como alternativa en el uso de pesticidas en el cuidado de los cultivos agrícolas de diferentes productos de la misma índole, por último se resalta de los artículos mencionados, otros compuestos presentes en el aceite

esencial que le confieren distintas características, entre ellas capacidades organolépticas con un olor dulce, similar al limón, y el ser utilizados como esencias relajantes para ambientación y usos industriales como maquillaje o esencias⁴.

Por otra parte los compuestos más predominantes en la Limonaria (Gráfica 5) son β -Citral, Citral y β -Mirceno con porcentajes de 10,18%, 9,65% y 8,72% respectivamente, estos compuestos representan la mayor cantidad del porcentaje del aceite esencial extraído los cuales otorgan la mayor parte de las capacidades que posee este aceite al momento de ser utilizado en diferentes áreas. Por parte de Rodríguez, y colaboradores presentan que los compuestos primordiales en el aceite esencial de Limonaria son el Geranial con 49.7%, el Neral con 30.5% y el β -Mirceno un porcentaje de 12.2%, es decir que los tres compuestos más relevantes son los mismos que en lo obtenido por parte del aceite esencial procesado, pero reportados con sinónimos de los compuestos como puede ser el Geranial o llamado Citral y el β -Citral que también se conoce como Neral, solo que en este caso los porcentajes son discordantes al compararlo con la literatura ya que otros compuestos en el aceite obtenido están presentes de manera significativa².

Por otra parte Quintanilla y colaboradores también presentan los compuestos Geranial con 46,3% y β -Citral con 32,88%¹⁰, que correlacionándolo con los resultados de Pineda junto a sus colaboradores muestran que su aceite esencial de Limonaria presenta de forma mayoritaria los compuestos Geranial y β -citral con 43,13% y 21,73% respectivamente⁵⁹; estos dos autores reflejan que los compuestos mayoritarios de este aceite son Geranial y β -citral por lo que estos resultados se relacionan con los compuestos más relevantes en el aceite procesado para este proyecto, lo que conlleva a una concordancia del aceite trabajado y el aceite estudiado por la literatura.

Así mismo Mendoza, y colaboradores en la extracción de aceite esencial de Limonaria en donde los compuestos encontrados fueron Geranial y β -Citral con porcentajes de 41.8% y 34.9% respectivamente, cuya premisa es que el Geranial actúa como una toxina neurológica para los ácaros de la especie *D. farinae* que los altera, alerta y ahuyenta a estos ácaros, por otra parte Abramson, y colaboradores dan el protagonismo al compuesto más representativo de este aceite que es el Citral o

Geraniol el cual es el principio activo que demostró que es capaz de detener el ciclo de vida de *Rhodnius prolixus*⁵⁶ y como resaltó Yang .P y colaboradores, también puede causar la muerte de *Culex pipiens* vector de la encefalitis equina y de ácaros de la familia Tarsonemidae⁵⁷ , así mismo lo que habla Ríos E. es que la composición de este aceite los dos principales compuestos son en Geraniol y el Neral destacando que estos dos provienen de diferentes alteraciones del citral que le dan viabilidad al compuesto además destacan su uso como material para perfumería, maquillaje y gastronomía indicando las mejores condiciones para su obtención y preservación³², todos estos resultados conllevan a que la presencia de los compuestos activos principales se encuentran de igual manera en el aceite esencial procesado este puede ser utilizado para el cuidado y manejo de los distintos productos agrícolas, en cuanto al Neral y el β -Mirceno se les atribuye en gran parte las características organolépticas, entre ellas el intenso y penetrante olor que posee el cual es similar al del limón³².

Con la comparación realizada entre el aceite procesado y con los diferentes autores se observa como los aceites de Citronela y Limonaria actúan frente a diferentes agentes patógenos que afectan los cultivos agrícolas, tanto de origen bacteriano, micótico y plaguicida con un gran espectro para la eliminación de diferentes especies, además de la concentración del aceite esencial a la cual puede combatir cada uno de ellos (Tabla 12 y Tabla 13).

Para finalizar cabe resaltar que las diferencias en los porcentajes de los compuestos se atribuyen a que los aceites esenciales extraídos en los artículos de literatura se realizaron con plantas o materia prima que creció a condiciones ambientales y estacionales diferentes al material procesado, suministrándoles la capacidad de resaltar de una mejor manera dichos compuestos.

8. Conclusiones

- Los compuestos principales Citronelal y Geraniol para el aceite esencial de Citronela, el β Citral y el Citral para el aceite esencial de Limonaria son aquellos que según la literatura poseen un potencial antimicrobiano el cual por medio de su principio activo les otorga la capacidad de combatir varias enfermedades que afectan al sector agrícola.
- El porcentaje de rendimiento de la extracción de Aceite esencial extraído de Citronela frente al Aceite esencial extraído de Limonaria es mayor, por lo que es más rentable su obtención y uso como alternativa para el cuidado de cultivos agrícolas, en cuanto a las características físicas los dos aceites poseen los valores óptimos de densidad e Índice de refracción para ser considerados como un líquido aceitoso o aceite.
- Los principales compuestos químicos hallados en el aceite esencial extraído de Citronela es el Citronelal y por parte del aceite esencial extraído de Limonaria fue el β Citral, identificados por medio de la cromatografía de gases y su posterior confirmación con la utilización del software digital NIST y la enciclopedia ADAMS.
- La comparación de los aceites esenciales entre los autores y el aceite procesado dio una visión acerca de los compuestos más importante que se presentaban en cada uno de ellos, de igual forma como estos aceites pueden ser utilizados para combatir agentes patógenos en los cultivos agrícolas, dando fiabilidad al estudio.

Recomendaciones

Se recomienda que los datos obtenidos tras la comparación con los diferentes autores de lugar a nuevos campos de estudio como lo es la dilución de los aceites a ciertas concentraciones para combatir microorganismos que afecten los cultivos agrícolas.

Así mismo los patógenos como *Aedes aegypti*, *Plasmodium falciparum*, *Dermatophagoides sp.* en relación con los aceites esenciales y su inhibición sean estudiados a más profundidad.

Con los datos obtenidos poder expandir el estudio de estos aceite esencial procesado en diferentes campos para ser utilizado posteriormente en diferentes áreas.

Referencias

1. Ricci M, Padín S, Ringuélet J, Kahan A. Utilización de Aceite Esencial de Lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf) Como Repelente de *Diuraphis noxia*

- Kurdj. (*Hemiptera: Aphididae*) en Trigo [Internet]. 2018 consultado el 20 de octubre 2018.
2. Rodríguez, W., Avila, L., Chacón, Y., Mesa, J. and Munera, M. Composición química del aceite esencial de las hojas de *Cymbopogon nardus* y *Cymbopogon citratus*. [internet] 2018 consultado el 20 de octubre de 2018.
 3. Sánchez C, Cruz M, Alvarado Y, Pérez M, Medinilla M, Acosta M et al. Evaluación del efecto del aceite esencial de *Cymbopogon nardus* para el control de microorganismos contaminantes del cultivo in vitro de plantas [Internet]. Revista.ibp.co.cu. 2018 consultado el 20 de octubre 2018.
 4. Sánchez C, Cruz M, Martín E, Leiva M, Cruz M, Alvarado Y, Acosta M, Berkys B, Pérez M. Actividad antifúngica del aceite esencial de *Cymbopogon nardus* para el control de *Macrophomina phaseolina* [Internet]. Cagricola.uclv.edu.cu. 2018 consultado el 20 de octubre 2018.
 5. Antolínez J, Nélida G, Usubillaga A, Darghan E, Linares S. Evaluación de variables agronómicas en el cultivo de limonaria (*Cymbopogon Citratus* Stapf) para la producción de aceite esencial. [internet]. consultado el 28 abril 2018.
 6. Alzate D., Mier G, Afanador L, Durango D, García C. (abr 2009). Evaluation of phytotoxicity and antifungal activity against *Colletotrichum acutatum* of essential oils of thyme (*Thymus vulgaris*), lemongrass (*Cymbopogon citratus*), and its main constituents. [internet] Scielo.org.co consultado el 28 de abril del 2018.
 7. Olivero J, Caballero K, Jaramillo B, Stashenko E. Actividad repelente de los aceites esenciales de *Lippia origanoides*, *Citrus sinensis* y *Cymbopogon nardus* cultivadas en Colombia frente a *Tribolium castaneum*, Herbst [Internet]. Scielo.org.co. 2018 consultado el 28 de abril del 2018.

8. Cruz A, Rodríguez N, Rodríguez E. Evaluación in vitro del efecto antibacteriano de los extractos de *Bidens pilosa*, *Lantana camara*, *Schinus molle* Y *Silybum marianum* [Internet]. Scielo.org.co. 2018 consultado el 20 de octubre de 2018.
9. Ramos M, Bautista S, Leticia L, Bosquez E, Estrada M. Compuestos Antimicrobianos Adicionados en Recubrimientos Comestibles para Uso en Productos Hortofrutícolas. [Internet]. Redalyc.org. 2018 consultado el 20 de octubre de 2018
10. Quintana E, Plascencia M, González G, Cortez M. Inhibición del crecimiento de *Penicillium chrysogenum* por presencia de aceites de *Cinnamomum zeylanicum*, *Allium cepa* y *Cymbopogon citratus* [Internet]. Scielo.org.mx. 2018 consultado el 20 de octubre de 2018.
11. Rodríguez R, Ruiz C, Arias G, Castro H, Martínez J, Stashenko E. Estudio comparativo de la composición de los aceites esenciales del género *Cymbopogon* (*Poaceae*) cultivadas en Colombia [Internet]. Redalyc.org. 2018 consultado el 26 de octubre de 2018.
12. Olivares M, López A. Potencial antimicrobiano de mezclas que incluyen aceites esenciales o sus componentes en fase vapor [internet] Web.udlap.mx. 2018. consultado el 26 de Octubre. 2018.
13. Lee Seong Wei, W. (2019). Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals. [internet] PubMed Central (PMC). Consultado el 26 de Octubre. 2018.
14. Wagner R, Ootani M, Ascencio S, Ferreira T, Santos M, Santos G. Fumigant Antifungal Activity of *Corymbia citriodora* and *Cymbopogon nardus* Essential Oils and Citronellal against Three Fungal Species [internet] ncbi.nlm.nih.gov 2018 consultado el 26 de Octubre del 2018.
15. Aragón A, Vega J, Pérez B, Damián M, Romero O, López J. Aceite de *Cymbopogon nardus* y *Pelargonium citrosum*, como repelentes de *Culex*

quinquefasciatus. [internet] Scielo.org.mx. 2018 consultado el 26 de Octubre del 2018.

16. Teixeira Z, Fernández F, Ramos A, Fernández A, Pinto J, Escalona J, De Queiroz M. Composición química y actividad insecticida de aceite esencial de *Cymbopogon citratus* de Brasil y Cuba contra la mosca doméstica [Internet]. consultado el 26 de octubre de 2018.
17. Méndez G, Osorio M, Martínez S. Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L [Internet]. Medigraphic.com. 2018 consultado el 26 de octubre de 2018.
18. Grenier C, Milano M, Menca P, Dias L, Baeza L, Seki E, Estivalet T. antifungal activity of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle (*Citronella*) against *Microsporium canis* from animals and home environment. [Internet] ncbi.nlm.nih.gov 2018 consultado el 26 de octubre de 2018.
19. Pandey K, Kumar P, Singh P, Tripathi P, Bajpai V. Essential Oils: Sources of Antimicrobials and Food Preservatives [Internet] ncbi.nlm.nih.gov 2018 consultado el 26 de octubre de 2018.
20. Fay F, Casariego A, Falco A, Pino J. Actividad antimicrobiana de aceites esenciales de *ocotea Quixos* (Lam.) *Kosterm*, *Bursera Graveolens* (Kunth) *Triana y Planch*, *Cymbopogon Citratus* (DC) *stapf*. y *Curcuma Longa* (L.) sobre microorganismos contaminantes de alimentos [Internet]. Revcitecal.iiiia.edu.cu. 2018 consultado el 26 de Octubre del 2018.
21. Torrenegra M, Pájaro N, León G. Actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de diferentes especies del género *Citrus* [Internet]. Revistas.unal.edu.co. 2018 consultado el 26 de Octubre del 2018.
22. Argote F, Suarez Z, Tobar M, Perez J, Hurtado A, Delgado J. Evaluación de la capacidad inhibitoria de los aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y

- Escherichia coli* [Internet]. Scielo.org.co. 2018 consultado el 26 de octubre de 2018.
23. Leyva M, French L, Pino O, Montada D, Morejón G, Marquetti C.. Plantas con actividad insecticida: una alternativa natural contra mosquitos. Estado actual de la temática en la región de las Américas. [Internet] researchgate.net. 2018 consultado el 26 de Octubre del 2018.
24. Molina A, Herrera L. Comparación de la eficacia del extracto Citronela (*Cymbopogon citratus*) como repelente natural en base oleosa y un repelente comercial en base etanólica contra mosquitos adultos de la especie *Aedes aegypti* [Internet] repository.udistrital.edu.co consultado el 26 de Octubre del 2018.
25. familia Gramineae (Poaceae) [monocotiledóneas] [Internet]. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
26. García, H. (2018). Universidad Nacional de Colombia: Colecciones. [internet] Biovirtual.unal.edu.co. Consultado el 26 de Octubre. 2018.
27. Stapf O. Bulletin of Miscellaneous Information Kew (1906) [Internet] archive.org/ consultado el 10 de Febrero del 2019.
28. Inkaplus.com. (2018). [internet] consultado el 26 de Octubre. 2018.
29. Hiern W. Catalogue of the African Plants collected by Dr. F. Welwitsch (1853) [Internet] archive.org consultado el 10 de Febrero del 2019.
30. Grupo Asovida. (2018). *Citronela (Cymbopogon spp)*. [internet] Consultado el 26 de Octubre. 2018.
31. Minami, K. (1999). "Relatório do Estágio Supervisionado Produção Vegetal-II: manejo e produção de plantas medicinais e aromáticas". Universidad de São

Paulo, Escuela Superior de Agricultura “Luíz de Queiroz”, Departamento de Producción Vegetal. consultado el 10 de Febrero del 2019.

32. Rios E. Evaluación del aceite esencial y estudio de conservación en frío del *Cymbopogon Citratus* cultivado en la región del quindío [Internet] <http://blade1.uniquindio.edu.co> consultado el 10 de Febrero del 2019.
33. Clasificación de los aceites esenciales [Internet] 2019. Aceites esenciales y perfumes. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
34. Los aceites esenciales [Internet] 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
35. Nadjib M, Amine M, Kameli A, Saidi F, Tchoketch H. Bulletin of Miscellaneous Information Kew (1906) Lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drugs [Internet] ncbi.nlm.nih.gov consultado el 10 de Febrero del 2019.
36. Akono P, Baldovini N, Mouray E, Mambu L, Belong P, Grellier P. Activity of *Ocimum basilicum*, *Ocimum canum*, and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Plasmodium falciparum* and mature-stage larvae of *Anopheles funestus* s.s. [Internet] ncbi.nlm.nih.gov consultado el 10 de Febrero del 2019.
37. Tyagir A, Malik A. Liquid and vapour-phase antifungal activities of selected essential oils against candida albicans: microscopic observations and chemical characterization of *Cymbopogon citratus* [Internet] ncbi.nlm.nih.gov consultado el 10 de Febrero del 2019.
38. Herbotecnia.com.ar. (2019). Cultivo de Citronella (*Cymbopogon nardus*) y usos. [internet] Consultado el 10 de Febrero. 2019.
39. Aceite de Citronela contra Insectos, D. and Aromas, A. (2019). Aceite de Citronela contra Insectos, Dolores y Estrés!. [internet] Aceites y Aromas - Aromaterapia Casera Esencial. Consultado el 10 de Febrero. 2019.

40. Muñoz J, Stashenko E y Ocamp C Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) [Internet] scielo.org.co consultado el 10 de Febrero del 2019.
41. Mansour S, Messeha S. Botanical biocides. 4. Mosquitocidal activity of certain *Thymus capitatus* constituents [Internet] researchgate.net consultado el 10 de Febrero del 2019.
42. Jiang Z, Akhtar Y, Zhang X, Bradbury R, Isman B. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) [Internet] onlinelibrary.wiley.com consultado el 10 de Febrero del 2019.
43. Martínez A. Aceites esenciales Universidad de Antioquia [Internet] med-informatica.com consultado el 10 de Febrero del 2019.
44. Olivero J Pájaro N, Stashenko E. Antiquorum sensing activity of essential oils isolated from different species of the genus Piper [Internet] scielo.org.co consultado el 10 de Febrero del 2019
45. Sikkema J, Bont JA, Poolman B, Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. [Internet] ncbi.nlm.nih.gov consultado el 10 de Febrero del 2019
46. García A, Urría E. Metabolismo secundario de plantas [Internet] eprints.ucm.es consultado el 10 de Febrero del 2019.
47. Diseño y construcción de una planta para la extracción de aceites esenciales con capacidad para 300 Kg de material vegetal [Internet]. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
48. Instructivo de manejo del cromatógrafo de gases acoplado al detector selectivo de masas de triple cuadrupolo AGILENT GC 7890B/QqQ 7000D [Internet]. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.

49. Density - American Chemical Society [Internet]. American Chemical Society. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
50. Ekhoﬀ J. Eﬀect of Interfacial Refractive Index on Optical Molecular Orientation Measurements [Internet]. Pubs.acs.org. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
51. Blog.utp.edu.co. (2019). [internet] consultado el 15 de Abril. 2019.
52. Medición de la densidad relativa de los lubricantes - Noria Latín América [Internet]. Noria Latín América. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
53. “Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales” [Internet]. Dspace.espoch.edu.ec. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
54. Índice de Refracción [Internet]. Docencia.udea.edu.co. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
55. Mendoza Meza D. Composición química y actividad acaricida del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* Stapf contra el ácaro intradomiciliario *Dermatophagoides farinae* (Acari: Pyroglyphidae) [Internet]. Scielo.org.co. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
56. Abramson C. Exposure to Citral, Cinnamon and Ruda Disrupts the Life Cycle of a Vector of Chagas Disease [Internet]. Pdfs.semanticscholar.org. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
57. Yang P. Adulticidal Activity of Five Essential Oils against *Culex pipiens quinquefasciatus* [Internet]. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.
58. Villacrés Y. Estudio comparativo de la composición química de los aceites esenciales de *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon cf. martini*, *Cymbopogon cf.*

nardus aplicado en perfumería [Internet]. Dspace.esPOCH.edu.ec. 2019 consultado el 6 de Septiembre de 2019.

59. Pineda W. (2019). Comparación del rendimiento y caracterización del aceite esencial crudo de la citronela (*Cymbopogon winterianus*), variando el tamaño de la muestra y el contenido de humedad aplicando el método de extracción por arrastre con vapor a nivel laboratorio [internet] Biblioteca.usac.edu.gt. consultado el 6 de Septiembre del 2019.

60. *Cymbopogon nardus* [Internet]. 2019 consultado el 23 de Septiembre de 2019.

61. *Cymbopogon citratus* [Internet]. 2019 consultado el 23 de Septiembre de 2019.