

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Análisis fisicoquímico y determinación del contenido fenólico total del exudado del
árbol de algarrobo *Prosopis juliflora* (Fabaceae).**

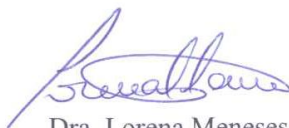
**Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas con
Mención en Química Analítica**

FELIPE EDUARDO GALLEGOS PERALTA

Quito, 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica, del Sr. Felipe Eduardo Gallegos Peralta, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Dra. Lorena Meneses

Directora de la Disertación

Quito, 19 de noviembre del 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria y de mi vida.

A mi padre y a mi madre por haberme inculcado la vocación hacia la ciencia.

A mi padre por su esfuerzo, cariño, motivación a seguir adelante, inspiración y experiencia para superarme cada día.

A mi madre por su cariño, ayuda, alegría y su infinito optimismo, el cual ha sido esencial para encontrar la fuerza necesaria en alcanzar todas las mis metas.

A mi hermana por su gran apoyo, entusiasmo y por ser un ejemplo a seguir.

A todos mis amigos que han formado parte de grandes e inolvidables momentos de mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y a sus maestros por impartir todo su conocimiento y experiencia durante mi carrera universitaria. De igual manera agradezco por abrirme las puertas de sus instalaciones las cuales fueron fundamentales para mi aprendizaje, además de darme la oportunidad de ejecutar plenamente mi trabajo de titulación.

De manera especial agradezco a mi directora de tesis, Dra. Lorena Meneses, por su paciencia, su orientación en la elaboración de este trabajo de titulación y haberme brindado las herramientas necesarias para ser un buen profesional.

Finalmente, agradezco a todos los profesores y compañeros que con sus consejos permitieron la finalización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| 1. RESUMEN..... | 1 |
| 2. ABSTRACT | 2 |
| 3. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 3.1. OBJETIVOS..... | 9 |
| 3.1.1. OBJETIVO GENERAL | 9 |
| 3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 9 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 10 |
| 4.1. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS | 10 |
| 4.2. ANÁLISIS DE pH, CONDUCTIVIDAD, DENSIDAD Y VISCOSIDAD | 11 |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS..... | 14 |
| 4.4. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS | 16 |
| 4.5. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA..... | 18 |
| 4.6. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES POR UV-VIS..... | 20 |
| 4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 21 |
| 4.7.1. MEDIA..... | 21 |
| 4.7.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR..... | 22 |
| 4.7.3. PRUEBA t DE STUDENT | 23 |
| 4.7.4. ANOVA..... | 24 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 25 |
| 5.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA..... | 25 |
| 5.1.1. pH..... | 26 |
| 5.1.2. CONDUCTIVIDAD | 27 |
| 5.1.3. DENSIDAD | 29 |
| 5.1.4. VISCOSIDAD | 30 |
| 5.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, CENIZAS Y PROTEÍNA..... | 31 |
| 5.2.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD..... | 31 |
| 5.2.2. PORCENTAJE DE CENIZAS | 32 |
| 5.2.3. PORCENTAJE DE PROTEÍNA | 33 |
| 5.3. ANÁLISIS CUALITATIVO POR ESPECTROSCOPIA IR..... | 36 |

| | |
|---|----|
| 5.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FENOLES TOTALES POR UV-VIS..... | 44 |
| 5.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO..... | 49 |
| 5.5.1. PRUEBA t Y ANOVA..... | 49 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 57 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 59 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 60 |
| 9. ANEXOS..... | 67 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3.1. Especificaciones generales sobre parámetros de calidad de la goma arábica y goma de algarrobo | 6 |
| Tabla 4.1. Ubicación de las zonas de muestreo en la provincia de Manabí para la obtención de la goma de algarrobo | 11 |
| Tabla 5.1. Valores experimentales de pH, conductividad, densidad y viscosidad para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo | 25 |
| Tabla 5.2. Porcentajes de humedad, cenizas y proteína para las tres muestras de goma de algarrobo y goma arábica | 31 |
| Tabla 5.3. Porcentaje de nitrógeno (% N) teórico y experimental para el estándar de L-triptófano..... | 35 |
| Tabla 5.4. Comparación e identificación de picos relevantes visualizados en los espectros infrarrojos de ambas gomas..... | 41 |
| Tabla 5.5. Niveles de la curva de calibración de ácido gálico con sus respectivas absorbancias..... | 45 |
| Tabla 5.6. Elementos de la curva de calibración de ácido gálico empleada para la cuantificación del contenido fenólico total | 46 |
| Tabla 5.7. Concentración de fenoles totales para las muestras de goma de algarrobo en las tres zonas de estudio y goma arábica grado UPS | 47 |
| Tabla 5.8. Valor de t calculado y ANOVA para los datos generados en el análisis de pH..... | 50 |
| Tabla 5.9. Valor t calculado en el análisis de conductividad..... | 51 |
| Tabla 5.10. Prueba t y ANOVA para la determinación de densidad..... | 52 |
| Tabla 5.11. Prueba t y ANOVA para la determinación de viscosidad relativa..... | 53 |
| Tabla 5.12. Prueba t y ANOVA para la determinación de porcentaje de humedad, cenizas, proteína y contenido fenólico total | 55 |
| Tabla 9.1. Valores experimentales de pH para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo, obtenida en las tres zonas de muestreo a 20 °C..... | 69 |
| Tabla 9.2. Mediciones de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo | 70 |

| | |
|--|----|
| Tabla 9.3. Densidad (g/mL) para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo medidas a 25 °C | 71 |
| Tabla 9.4. Valor de densidad y tiempo transcurrido durante el desplazamiento de agua destilada a 25 °C por el viscosímetro de Ostwald | 73 |
| Tabla 9.5. Tiempo, en segundos, transcurrido durante el desplazamiento de las soluciones acuosas de muestras de goma por el viscosímetro de Ostwald | 73 |
| Tabla 9.7. Pesos, en gramos, empleados para la determinación del porcentaje de humedad presente en cuatro muestras de goma..... | 75 |
| Tabla 9.8. Valores experimentales de los pesos utilizados para la determinación del porcentaje de cenizas en goma de algarrobo y goma arábica | 77 |
| Tabla 9.9. Datos experimentales de pesos y volúmenes usados en la determinación del porcentaje de proteína y nitrógeno total..... | 80 |
| Tabla 9.10. Pesos y volúmenes empleados para la determinación del porcentaje de nitrógeno en muestras de control de L-triptófano..... | 80 |
| Tabla 9.11. Datos experimentales de absorbancia y concentración, obtenidos en el análisis de TPC para muestras de goma de algarrobo de las zonas 1, 2 y 3 y goma arábica..... | 82 |
| Tabla 9.12. Cantidad de muestra de goma de algarrobo y goma arábica, usadas para la determinación del contenido total de fenoles | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 4.1. | Disoluciones de muestras de goma. De izquierda a derecha; goma arábica, goma de algarrobo zona 1, zona 2 y zona 3 | 12 |
| Figura 4.2. | Izquierda, esquema del viscosímetro. Derecha, muestras de goma, dentro de los viscosímetros de Ostwald, en baño de agua..... | 14 |
| Figura 5.1. | Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 1, Bahía de Caráquez | 37 |
| Figura 5.2. | Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 2, Portoviejo | 38 |
| Figura 5.3. | Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 3, Puerto López..... | 39 |
| Figura 5.4. | Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma arábica..... | 40 |
| Figura 5.5. | Espectro IR de goma de algarrobo y goma arábica | 43 |
| Figura 5.6. | Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de fenoles totales..... | 45 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| ANEXO 1. Certificado Herbario PUCE | 67 |
| ANEXO 2. Certificado Pureza Goma Arábica UPS | 68 |
| ANEXO 3. Información adicional determinación pH | 69 |
| ANEXO 4. Información adicional determinación conductividad | 70 |
| ANEXO 5. Información adicional determinación densidad | 71 |
| ANEXO 6. Cálculo de viscosidad relativa | 72 |
| ANEXO 7. Cálculo porcentaje de humedad | 75 |
| ANEXO 8. Cálculo porcentaje de cenizas | 77 |
| ANEXO 9. Cálculo porcentaje de proteína y nitrógeno total | 79 |
| ANEXO 10. Cálculo cuantificación de fenoles totales a partir de la ecuación de la recta.. | 81 |

1. RESUMEN

La goma de algarrobo es un exudado proveniente de las ramas y troncos de los árboles del género *Prosopis* y que posee potenciales aplicaciones industriales. La goma de algarrobo carece de estudios en el Ecuador. Se analizaron muestras provenientes del árbol *Prosopis juliflora*, recolectadas en tres áreas de la provincia de Manabí: Bahía de Caráquez (Zona 1), Portoviejo (Zona 2) y Puerto López (Zona 3), y una muestra de goma arábica grado UPS, tomada como patrón de comparación. Se determinaron las características de pH, conductividad, densidad y viscosidad de soluciones acuosas del exudado en concentraciones de 10, 30, 50 y 80 % (p/v). Se obtuvieron porcentajes de cenizas y proteína de acuerdo con los métodos establecidos por la AOAC. Se identificaron espectros FTIR y se compararon con espectros de la bibliografía. El contenido fenólico total fue determinado por el método Folin-Ciocalteu por espectrofotometría UV-Vis. Los resultados de ambas gomas fueron comparados mediante la prueba t de student y ANOVA. Los valores obtenidos de pH, entre 4,0 y 5,0, y de densidad, entre 1,03 y 1,19 g/mL, indicaron similitud entre sí. En cuanto a conductividad y viscosidad la goma arábica presentó valores mayores. La goma de algarrobo mostró bajo contenido de cenizas y alto en proteína. Los espectros FTIR presentaron semejanza entre los dos tipos de gomas y con bibliografía; los porcentajes de correlación, frente a la goma arábica, fueron de 80,37, 79,83 y 79,66 % para las zonas 1, 2 y 3 respectivamente. El contenido fenólico total fue de 40,08, 37,12 y 18,49 mg GAE /100 g para las tres zonas de muestreo respectivamente, en contraste con la goma arábica de 10,57 mg GAE/100 g. La prueba t demostró que las gomas de las zonas 1 y 2 fueron semejantes a la goma arábica. Los valores de los parámetros de porcentaje proteico y contenido total de fenoles, fueron superiores para la goma de algarrobo en comparación con la goma arábica, aseveración que tiene el respaldo de la prueba ANOVA. Por lo tanto, se plantea que la goma de algarrobo podría ser una alternativa al uso de goma arábica.

Palabras Clave: *Acacia senegal*, algarrobo, fenoles totales, FTIR, goma arábica, *Prosopis juliflora*, UV-Vis.

2. ABSTRACT

Carob tree gum is an exudate obtained from the stems and branches of *Prosopis* trees. It is a natural product with various applications in food, pharmaceutical, cosmetic industry, etc. Carob tree gum has not been studied in Ecuador. In the present work, samples originated from *Prosopis juliflora* tree, collected from three zones of Manabí province: Bahía de Caráquez (Zone 1), Portoviejo (Zone 2) and Puerto López (Zone 3), and one sample of arabic gum, UPS grade from *Acacia senegal* tree used as reference, were analyzed. The physicochemical characteristics of pH, conductivity, density and viscosity in aqueous solutions of dried gums at concentrations of 10, 30, 50 and 80% (w/v) were determined. The ash and protein percentage were obtained through AOAC methods. Infrared spectrums of both gums, were obtained by FTIR and compared with bibliography. Additionally, the total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method and UV-Vis spectrophotometric technique. The results from the two types of gum were compared statistically through a t test and ANOVA. The pH and density values were similar between both gums: pH between 4.0 and 5.0 and density between 1.03 and 1.19 g/mL. The values of conductivity and viscosity were higher in arabic gum. Results of ash and protein were different between the gums, being the carob tree gum lower in ash content and higher in protein. The FTIR spectra presented a good correlation between the two types of gums and with the literature; the correlation percentage, in comparison with the spectra of arabic gum, were 80.37, 79.83 and 79.66 % for 1, 2 and 3 zones, respectively. The total phenolic content were 40.08, 37.12 and 18.49 mg GAE/100 g for the three sampling zones respectively, in contrast to the arabic gum with 10.57 mg GAE/100 g. The t test indicated that gums from zones 1 and 2 were similar to arabic gum. The results achieved in the study reveal higher parameters of protein percentage and total phenolic content for the carob gum in contrast with the arabic gum, as can be seen in the ANOVA test. Thus, it is proposed the use of carob gum, as a new alternative, instead of arabic gum.

Keywords: *Acacia Senegal*, arabic gum, carob tree, FTIR, *Prosopis juliflora*, total phenolic content, UV-Vis.

3. INTRODUCCIÓN

El conocimiento e investigación respecto a los compuestos o componentes que ofrece el reino vegetal, constituyen una amplia área de estudio. Permite identificar sus beneficios e impulsa la innovación y desarrollo en áreas de alimentación y de la industria.

La investigación, efectuada en este trabajo de disertación, se realizó por el interés de afrontar el vacío académico existente en el país y resaltar la presencia de goma de algarrobo en diferentes zonas áridas y semiáridas. El presente estudio propone analizar la goma o exudado de algarrobo, *Prosopis juliflora*, como una alternativa al uso de la goma arábiga. Debido a su semejanza, tanto de estructura química y fisicoquímica, la goma de algarrobo supone una nueva forma de satisfacer la demanda de aditivos ante el crecimiento industrial que se vive en los últimos años (López, Goycoolea, y Calderón de la Barca, 2006).

La goma de algarrobo, al ser un producto poco conocido, carece de parámetros de medición de calidad, en comparación con la goma arábiga. El mercado de la goma de algarrobo tiene un alto reconocimiento en el estado mexicano. Los árboles de *Prosopis* han contribuido económicamente para muchas comunidades del centro norte de México y sur de Estados Unidos, por lo que actualmente la goma de algarrobo ha ganado un alto interés en el uso industrial (Vernon, Beristain y Pedroza, 2000). Para el caso ecuatoriano, la comercialización de la goma de algarrobo es nula. En la provincia de Manabí existe un cierto reconocimiento, por los lugareños, de que esta exudación permite combatir afecciones estomacales.

En las gomas, en general, se encuentran compuestos fenólicos, que son sustancias con anillos bencénicos en su estructura. Sus diferentes conformaciones ayudan a que el sistema vegetal funcione correctamente y actúen como mecanismos de defensa ante agentes patógenos. Así mismo, el consumo de productos con contenido fenólico favorece al cuerpo humano, al actuar como antioxidantes y en el sistema inmune (Ozcan, Akpınar, Ersan y Delikanli, 2014). Existe una amplia cantidad de información relacionada a las ventajas y usos de la goma arábiga. Análisis proximales sustentan el uso de goma arábiga en alimentos

(Sulieman, 2018) y análisis de contenido fenólico total y su intervención en el metabolismo (Kassem y Abdullah 2015). En el caso específico de la goma de algarrobo se carece de este tipo de estudios.

La importancia de los espesantes o aditivos de similar característica a la goma arábica debe ser puesto en consideración, por lo que la producción de goma de algarrobo nacional sería una buena alternativa. Con esta medida se fomentaría la implementación de bosques de algarrobo en las zonas semiáridas y áridas del país, además del aprovechamiento de las zonas actuales. El desarrollo de una goma nacional satisfará la futura demanda, por lo tanto, se evitará la importación de aditivos y se reducirán costos de producción, además de aportar un nuevo ingreso hacia la población ecuatoriana.

Se denomina exudado vegetal a toda aquella sustancia, goma, látex o resina, que es producida y expulsada en estado líquido por una planta, por métodos naturales. En ciertos casos, la producción es grande y fácilmente distinguible (Diéguez, 1998). Estas sustancias captaron el interés del hombre debido a su poder aglutinante, adhesivo, medicinal, alimenticio, entre otros. Son compuestos que han formado parte del uso de la sociedad humana desde miles de años atrás. En la actualidad tienen un gran impacto y una amplia aplicabilidad en varias áreas industriales, por lo que la demanda de dichos productos sobrepasa la producción (Zalbidea, 2016).

Blay y Lambert (2017), con base en sus estudios, establecen cuatro tipos de exudados vegetales: resinas, gomas, látex y fenólicos. Las resinas están constituidas mayoritariamente por moléculas de terpenos, que al sufrir un proceso de solidificación se transforman en resina fosilizada o ámbar. El látex natural de contextura lechosa blanca. Exudados fenólicos conformados por diversos compuestos químicos como terpenos, tarpina, antraquinonas, alcaloides, compuestos fenólicos, etc. Y las gomas, constituidas por largas cadenas de carbohidratos conectados conjuntamente por enlaces químicos. Presentan una elevada viscosidad debido a su alto peso molecular y poseen un alto contenido de agua, que al ser evaporada, da paso a un proceso de cristalización de conformación esférica.

El proceso de exudación es producto de la estimulación del organismo por factores externos. Constituyen mecanismos de defensa ante varias situaciones de estrés, como infestaciones de insectos, ataque por hongos, condiciones climáticas adversas, daños físicos, entre otras, además de ayudar en el proceso de regeneración del tejido. Se emplea la palabra “gomólisis” para la producción de gomas, resinas u otros biopolímeros de similares características (Séquin, 2017; Azcón y Talón, 2013). Kuruwanshi, Katiyar y Khan (2018), establecen que el sistema de producción de exudados, debido a un estrés, está basado en la formación de canales llamados conductos traumáticos, generados a partir de la ruptura de las células presentes en la corteza. Una vez que el exudado es formado, ya no vuelve a ingresar a la planta.

La goma de algarrobo y la goma arábica se definen como exudaciones gomosas vegetales, presentes en áreas áridas y semiáridas. La primera obtenida a partir de la corteza y ramas del árbol *Prosopis juliflora*, o especies relacionadas al género *Prosopis*. El género *Prosopis* es reconocido como un árbol originario de México. Existen 44 especies de árboles *Prosopis*, de las cuales 42 son nativas de América. Se utiliza principalmente en confitería como emulsificante y medicinalmente para prevención de infecciones (Coppen, 1995; Vernon et al., 2000). La goma arábica, procedente de las especies de árboles *Acacia senegal* y *Acacia seyal*, es originaria de África del norte; siendo las gomas de estas dos especies las más comercializadas (Coppen, 1995). La goma arábica cumple diferentes funciones en diversas áreas de la química. En el área de alimentos se emplea en la fabricación de caramelos y como emulsificante, en la encapsulación de saborizantes y como estabilizante en bebidas, además en la formación de pastillas, como medio de transporte de algunos fármacos o como aglutinante (Coppen, 1995).

La producción de goma arábica puede ser de forma natural o comercial. El proceso natural debido a estrés del árbol o daños físicos; el proceso comercial consiste de golpes ligeros o tapping (en inglés) en la corteza del árbol (Fidèle, Souleyman, Nguessolta y Goudiaby, 2015). La goma de algarrobo no presenta un método sistemático de producción y de recolección. Por otro lado, trabajos efectuados en México por López (2009), han tratado de implementar métodos de obtención similares a los de goma arábica con resultados

favorables. De igual manera, la autora ha desarrollado una clasificación de calidad por medio de la integridad y color de la goma, siendo las gomas mejor preservadas y de colores más claros las de mejor calidad.

Debido a que las gomas son un subproducto vegetal de un árbol, su composición química variará y dependerá de las características del suelo y los nutrientes recibidos durante su crecimiento. Varios estudios fisicoquímicos realizados en la goma de algarrobo contienen parámetros similares a los de la goma arábica (López, 2009). Los parámetros de calidad de la goma arábica y goma de algarrobo se ilustran en la Tabla 3.1

Tabla 3.1. Especificaciones generales sobre parámetros de calidad de la goma arábica y goma de algarrobo (Hassan, 2008; López, Córdova, Goycoolea, Valdez, Onofre y Mendoza, 2012; López, 2009; Sibaja, 2015; Vasile, Judis y Mazzobre, 2013)

| Parámetro goma arábica | Valor | Parámetro goma de algarrobo | Valor |
|-------------------------------|--------------------|---|----------------------|
| Humedad | 12 – 15 % | Humedad | 9,0 – 10,0 % |
| pH (25 % en agua) | 4,0 – 5,0 | pH (25% en agua) | 4,5 – 5,5 |
| Viscosidad (25 % en agua) | 87,5 – 137,5 cP | Viscosidad intrínseca (25 % en agua) | 35,22 mL/g |
| Cenizas | 2 - 4 % | Cenizas | 2 - 4 % ^a |
| Proteína | 1,5 – 3,0 % | Proteína | 6,98 % |
| Na | 100 ppm | Na | 9,32 ppm |
| K | 9500 ppm | K | 3,77 ppm |
| Ca | 7000 ppm | Ca | 26,9 ppm |
| P | 6000 ppm | - | - |

La composición química, tanto de la goma de algarrobo y la goma arábica, presenta compuestos fenólicos, sin embargo el contenido fenólico total varía entre los dos tipos de gomas. Los compuestos fenólicos son extensivamente encontrados en el reino vegetal, son metabolitos secundarios de las plantas, su función es proteger ante cualquier amenaza. Se caracterizan por poseer al menos un grupo fenol en su estructura. Entre estos compuestos se pueden encontrar ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y estilbenos. Generalmente estos

compuestos se presentan en formas conjugadas y en estructuras complejas (Ozcan et al., 2014).

Para el caso de la goma de algarrobo, su contenido de taninos es de 0,5 a 0,2 %, por lo que se ha limitado su uso en la industria por su posible toxicidad. La FAO no reconoce aún a la goma de algarrobo como alimento GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro). Sin embargo la Secretaria de Salud de México permite el consumo de la goma en base a pruebas toxicológicas realizadas en ratas, que consistió en una dieta a base de goma de algarrobo; dando como resultado actividad nula de intoxicación (López et al., 2006).

Kassem y Abdullah (2015) mediante un análisis del contenido fenólico total por el método Folin-Ciocalteu, establecieron que, una dieta de goma arábica en ratones interviene en la desintoxicación y reducción de radicales libres debido a la presencia de agentes antioxidantes. De igual manera, los autores Ayaz, Ramadan, Farid y Alnahdi (2017); Hamdani, Wani, Bhat y Masoodi (2018); Amoussa, Sanni y Lagnika (2015); Mirghani, Elnour, Kabbashi, Alam, Musa y Abdullah (2018), muestran que la presencia de agentes antioxidantes cumplen una función protectora. Sin embargo Basu, Prasad, Suthari y Kiran (2017), encontraron flavonoides en el exudado de la especie *Prosopis juliflora*; mientras que Seturaman, Uwe y Malliga, (2014) determinaron el contenido fenólico en hojas y frutos del árbol de algarrobo comercializado en Perú y México. Por otra parte, Perú industrializa el fruto del árbol de *Prosopis*, para la elaboración de la algarrobina y de harinas, pero no se hace uso de la goma (Grados, Ruiz, Cruz, Díaz y Puicón, 2000).

En el Ecuador, la comercialización de goma arábica está en manos de empresas comercializadoras especializadas en la importación. A pesar de esto, el ingreso de otros espesantes naturales y sintéticos en Ecuador es relativamente alta. El año 2018 el Ecuador tuvo una importación de 346 toneladas de espesantes (Centro de Comercio Internacional, 2018). Muchos de estos espesantes son dirigidos a las industrias de bebidas o jugos, área que ha presentado un alto impacto en los últimos años a la economía del país (Armijos, 2016). Los ingresos procedentes de la exportación de goma arábica, del país africano Sudán,

llegaron a un valor aproximado de 150,3 millones de USD en los periodos de 2014-2016 (UNCTAD, 2018).

El Ecuador posee amplias regiones áridas y semiáridas. Estas regiones están ubicadas en su mayoría en la región costa. La extensión aproximada es de 135,000 km² (Aguirre, Kvist, Sánchez, 2006). Los estudios realizados por Burghardt, Brizuela, Pía, Albán y Palacios (2010), analizaron la presencia del género *Prosopis* en las costas de Ecuador y Perú, y hallaron varias especies de *Prosopis* en Manabí, Guayas y El Oro, y también en la zona de Loja. El árbol *Prosopis juliflora* fue encontrado en diferentes zonas semiáridas y secas, entre ellas el Parque Nacional Machalilla, en regiones como Jipijapa, Puerto López, Portoviejo, y en ciertos lugares de Bahía de Caráquez.

El muestreo de la goma se realizó en tres zonas de la provincia de Manabí en la que hay la presencia preponderante del árbol de algarrobo. Las características fisicoquímicas y el contenido total de fenoles se determinaron mediante técnicas analíticas y espectrofotometría UV-Vis y FTIR, respectivamente, en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. La presencia de valores superiores o iguales en algunos de los parámetros de la goma de algarrobo en comparación con la goma arábiga indica que ésta se puede aprovechar en algunos de los procesos industriales que requieren el uso de gomas. El desarrollo de conocimientos en relación a las posibles aplicaciones de la goma de algarrobo generará beneficio para la comunidad ecuatoriana, además de aprovechar las regiones áridas y semiáridas existentes en el país.

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las características fisicoquímicas y el contenido total de fenoles, mediante técnicas analíticas y espectrofotometría UV-Vis y FTIR, del exudado proveniente del árbol de algarrobo (*Prosopis juliflora*), y su comparación con la goma arábiga.

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar propiedades fisicoquímicas del exudado de algarrobo y goma arábiga por ensayos de pH, conductividad, viscosidad y densidad para su comparación.

- Identificar el contenido de proteína y cenizas presentes en el exudado de algarrobo y goma arábiga.

- Comparar espectros FTIR entre el exudado de algarrobo y la goma arábiga

- Cuantificar el contenido de fenoles totales por medio de espectrofotometría UV-Vis.

- Efectuar pruebas estadísticas, prueba t y ANOVA, entre los resultados de contenido fenólico total y propiedades fisicoquímicas del exudado de algarrobo frente a la goma arábiga.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para el desarrollo experimental, se emplearon las investigaciones de Burghardt, Brizuela, Pía, Albán y Palacios (2010), en donde analizaron la presencia del género *Prosopis* en las costas de Ecuador y Perú. Con esta información tres zonas ecuatorianas fueron muestreadas. Se programaron las fechas de recolección, en la provincia de Manabí, entre los meses junio y julio del 2018, debido a que dichas fechas registran los menores niveles de lluvia y al término de los meses más calurosos del año. En la Tabla 4.1 se presentan las tres zonas de muestreo seleccionadas para este estudio, así como algunas características geográficas que influyen en la formación del exudado (Bazurto, 2013; Inamhi, 2018). Posteriormente se corroboró la especie exacta del árbol de algarrobo por parte de botánicos del herbario de la PUCE Quito, siendo la especie *Prosopis juliflora*, y que fue confirmada por el responsable del jardín botánico de la Universidad de Portoviejo, ver Anexo 1.

La recolección de muestras de goma se efectuó según las metodologías propuestas por Hassan (2008), Yebeyen, Lemenih y Feleke (2009), Kauther y Hussien (2018) y Sibaja (2015). Para ello se eligieron al azar 20 árboles de cada zona que presenten evidencia física de goma. Cabe recalcar que las edades de los árboles de la zona 1 y zona 2 fueron similares, de 5 a 10 años, mientras que la zona 3 contiene árboles de edades jóvenes de 3 a 5 años. Por otro lado, se adquirió una muestra de goma arábica grado alimenticio UPS, ver Anexo 2. Esto se usó para identificar las similitudes y diferencias fisicoquímicas de las dos especies de gomas durante el presente estudio.

Se identificaron las formaciones de goma de algarrobo en la corteza de los árboles. Manualmente y mediante una espátula de acero se procedió a desprender la goma con cuidado sin dejar que esta entre en contacto con el suelo o con demás restos de corteza. Las muestras de goma fueron almacenadas en bolsas Ziploc. Posteriormente, se aseguró que las muestras de goma de las tres zonas de muestreo no presenten restos de hojas o cortezas. A continuación, se secaron las muestras a temperatura ambiente. Las gomas, completamente

cristalizadas, fueron trituradas en molino de marca Victoria hasta obtener un tamaño de partícula de 0,5 y 1 mm o aspecto de harina. Se almacenó en un lugar fresco y seco hasta su análisis.

Tabla 4.1. Ubicación de las zonas de muestreo en la provincia de Manabí para la obtención de la goma de algarrobo

| N° | Ubicación | Coordenadas | Metros sobre el nivel del mar | Distancia hacia la playa | Rango de Temperatura (junio-julio) | Promedio de lluvia (junio-julio) |
|---------------|---|--|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Zona 1 | Bahía de Caráquez, San Vicente. | Latitud: 0°36'16.45"S Longitud: 80°23'58.71"O | 6 m | 3 km | 23,0 – 30,0 °C | 0,0 – 1,1 mm |
| Zona 2 | Portoviejo, Jardín Botánico de la Universidad Técnica de Portoviejo | Latitud: 1° 2'32.24"S Longitud: 80°27'10.99"O | 80 m | 20 km | 17,0 – 32,0 °C | 0,0 – 0,4 mm |
| Zona 3 | Puerto López, Bosque seco de Algarrobo | Latitud: 1°31'52.61"S Longitud: 80°44'32.41"O | 60 m | 8 km | 21,0 – 31,0 °C | 0,0 – 0,5 mm |

4.2. ANÁLISIS DE pH, CONDUCTIVIDAD, DENSIDAD Y VISCOSIDAD

La medición de pH de las gomas en solución es una forma de determinar el grado de acidez o alcalinidad existente, por lo que una variación de pH compromete sus características. Por otra parte, la conductividad mide la capacidad de una solución para conducir la

electricidad debido a la presencia de electrolitos. En cambio la densidad y la viscosidad son parámetros fisicoquímicos que ayudan a evaluar la resistencia que tienen las moléculas para separarse y la oposición de estas a la deformación (Sibaja, 2015). La metodología de trabajo se tomó de: Sibaja (2015), Lopez, et al. (2012), Hassan (2008), Kauther y Hussien (2018) y Hajer, Mohamed, Abubaker, Nisreen (2013).

Se prepararon soluciones acuosas al 10, 30, 50 y 80 % (p/v) a partir de las muestras de goma previamente trituradas. Se pesaron cuidadosamente las cantidades correspondientes en balanza analítica de marca Mettler Toledo ML204. Por otro lado, para las mediciones de conductividad se empleó agua desionizada obtenida a partir de un equipo de purificación marca Merk Millipore, eliminando así posibles interferencias. Con ayuda de un agitador de vidrio, se procedió a disolver las muestras hasta obtener soluciones homogéneas en vasos de precipitación, ver Figura 4.1. A continuación, se realizaron las lecturas de pH con un pH metro de marca Mettler Toledo SevenCompact S220 y conductividad con un equipo de marca Metrohm 912 Conducti.



Figura 4.1. Disoluciones de muestras de goma. De izquierda a derecha; goma arábica, goma de algarrobo zona 1, zona 2 y zona 3

De igual manera, para la determinación de densidad se prepararon soluciones acuosas al 10, 30, 50 y 80 % (p/v) a partir de las muestras de goma previamente trituradas. Las disoluciones fueron acondicionadas por 10 minutos en un baño de agua con termostato de marca Memmert a temperatura de 25 °C. Se efectuaron las mediciones de densidad con ayuda

de un densímetro de marca Mettler Toledo Densito 30XP. Posteriormente, el parámetro de viscosidad fue determinado a partir de las soluciones del paso anterior, previamente acondicionadas. Se introdujo cuidadosamente 10 mL de muestra en un viscosímetro Ostwald U-tube de marca IVA Cannon-Fenske Ostwald U-tube. Ver Figura 4.2. Sin retirar el viscosímetro del baño de agua y con ayuda de la pera de succión, se ascendió la solución hasta la mitad del tercer bulbo. Se liberó la succión y mediante el cronometro se midió el tiempo transcurrido desde la primera marca hasta la segunda marca. Se repitió el procedimiento para una muestra de agua destilada como líquido de referencia. Las mediciones de tiempo fueron anotadas y mediante la Ecuación 4.1 se determinó la viscosidad relativa de las muestras de goma.

$$\frac{n_{agua}}{n_{goma}} = \left(\frac{\delta_{agua} * t_{agua}}{\delta_{goma} * t_{goma}} \right)$$

$$n_{goma} = \frac{n_{agua}}{\left(\frac{\delta_{agua} * t_{agua}}{\delta_{goma} * t_{goma}} \right)} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Dónde:

n_{goma} = Viscosidad relativa, goma

n_{agua} = Viscosidad relativa agua a 25 °C

δ_{agua} = Densidad del agua

δ_{goma} = Densidad de la goma

t_{agua} = Tiempo transcurrido en segundos, del agua, entre las dos marcas del viscosímetro

t_{goma} = Tiempo transcurrido en segundos, de la goma, entre las dos marcas del viscosímetro

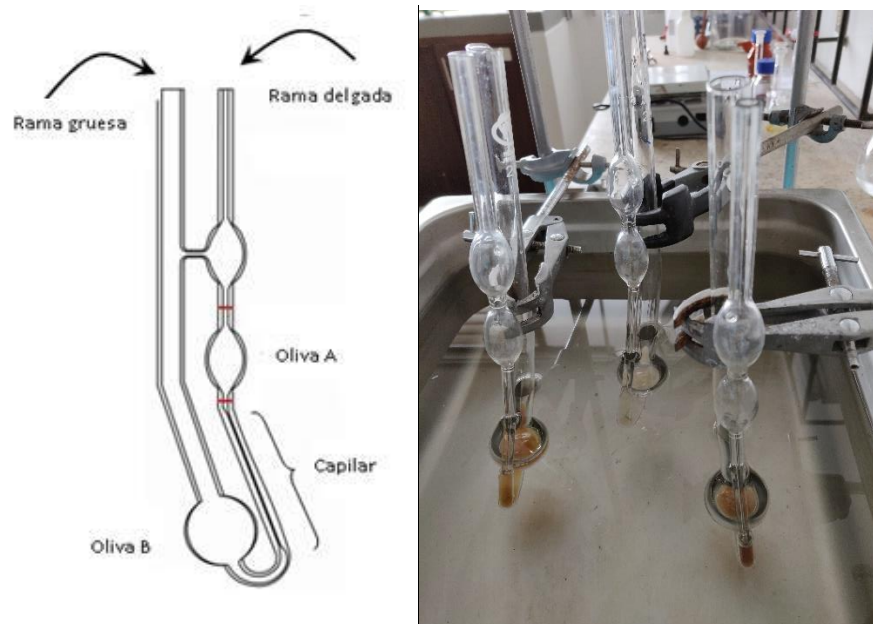


Figura 4.2. Izquierda, esquema del viscosímetro (Universidad de Buenos Aires, 2018). Derecha, muestras de goma, dentro de los viscosímetros de Ostwald, en baño de agua

4.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS

La determinación de humedad es un parámetro fisicoquímico que mide la cantidad de masa en una muestra, cuando es secada en la estufa a una temperatura de 130 ± 5 °C en el periodo de una hora hasta lograr un peso constante. Además, refleja la capacidad de retener partículas de agua en su estructura y por lo tanto, intervenir en el crecimiento microbiano, activación enzimática o desarrollo de algún proceso biológico. La determinación de cenizas por otro lado se fundamenta en la incineración de la muestra seca a 550 °C y eliminación de toda materia orgánica. El residuo consiste en óxidos, carbonatos, minerales y fosfatos.

La determinación del porcentaje de humedad no está contemplado en los objetivos de este trabajo de disertación, no obstante es un parámetro comúnmente analizado por varios autores en la goma de algarrobo. Se emplearon métodos oficiales AOAC 925.10 y AOAC

923.03 para humedad y cenizas respectivamente (Association of Official Analytical Chemists, 2005). Además se utilizaron como referencia los trabajos de Vasile et al (2013) y Kauther y Hussien (2018).

Para la determinación de humedad, primero se procedió con la tara de las cápsulas de porcelana en una estufa de marca Binder ED 115 por 1 hora a 130 ± 5 °C. Se enfriaron las cápsulas en un desecador de vidrio y se pesaron en balanza analítica, marca Mettler Toledo ML204, hasta peso constante (P_c). A continuación, se añadió 4 g de muestra de goma triturada (P_m). Las muestras contenidas en las cápsulas fueron introducidas en la estufa para su calentamiento por una 1 hora a 130 ± 5 °C. Se retiraron las cápsulas de la estufa y se colocaron en el desecador de vidrio. Se pesaron las cápsulas frías con la muestra seca hasta peso constante (P_f). Finalmente, se efectuó el cálculo de humedad mediante la Ecuación 4.2.

$$\%H = \frac{(P_m + P_c) - P_f}{P_m} * 100 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Dónde:

% H = Porcentaje de Humedad

P_f = Peso muestra seca más cápsula

P_m = Peso muestra

P_c = Peso cápsula tarada

La determinación de cenizas se llevó a cabo con el uso de crisoles y una mufla de marca Barnstead Thermolyne 48000. Así mismo, los crisoles de porcelana fueron tarados en mufla por 1 hora a 550 °C y se pesaron en balanza analítica (P_c) hasta peso constante. Posteriormente, se pesaron 5 g de muestra seca (P_m) y a continuación se introdujeron en la mufla para su calcinación por 3 horas a 550 °C. Cuidadosamente se retiraron los crisoles con ayuda de las pinzas y se enfriaron en el desecador de vidrio. Una vez enfriados completamente, se pesaron los crisoles con las cenizas (P_f). Se realizaron los cálculos respectivos utilizando la Ecuación 4.3.

$$\%C = \frac{(Pf - Pc)}{Pm} * 100 \quad \text{Ec. 4.3}$$

Dónde:

% C = Porcentaje de Cenizas

Pf = Peso crisol más cenizas

Pm = Peso muestra

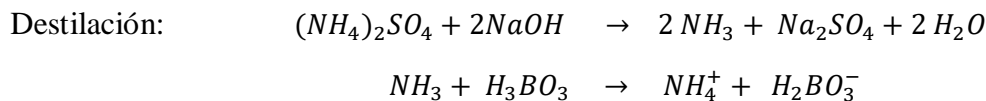
Pc = Peso del crisol tarado

4.4. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS

La determinación de proteínas es una prueba de gran importancia debido a la capacidad de medir el nivel de aminoácidos y contenido de nitrógeno presente en una muestra, en este caso las proteínas juegan un papel fundamental en las gomas aportando propiedades emulsificantes (López et al., 2006). Para este caso se empleó el método oficial AOAC 920.176 establecido por la AOAC (2005). Además se tomaron como referencia los trabajos efectuados por Sibaja (2015), Hassan (2008), Vasile et al. (2013) y Kauther y Hussien (2018).

El método Kjeldahl para proteínas consiste en tres etapas. La digestión ácida permite mineralizar toda materia orgánica existente en la muestra, para ello se emplea ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y un catalizador de sulfato de cobre. La etapa de destilación, en donde el nitrógeno mineralizado, en pH ácido como sulfato de amonio, se desplaza como amoníaco por el proceso de adición de hidróxido de sodio concentrado más calentamiento, posteriormente destilado en forma de vapor y recolectado en una solución ácida. Finalmente la etapa de titulación del amoníaco destilado “titulado” con una solución patrón de ácido sulfúrico o clorhídrico (Polo, 2012). Se usó un estándar de L-triptófano para evaluar el porcentaje de recuperación del método.

Digestión: $(Proteína) + (H_2SO_4) \rightarrow CO_2 + (NH_4)_2SO_4 + SO_2$



El equipo de digestión de marca Velp Scientifica DK 6, permite “digestar” 6 tubos a la vez; cuatro se usaron con muestra, uno se empleó como blanco y el último con L-triptófano como control. En los tubos de digestión usados como blanco y como control no se añadió muestra. El tubo de digestión usado como control solo contuvo 0,2 g de estándar de L-triptófano de marca Merk. Mientras que, a los tubos de digestión para muestra se añadieron 5 g de cada muestra de goma triturada. Todo pesado cuidadosamente en una balanza analítica marca Mettler Toledo ML204. Posteriormente se añadieron 2 pastillas Kjeldahl de marca Velp Scientifica, 25 mL de ácido sulfúrico concentrado (Sigma Aldrich) y 3 núcleos de ebullición para cada tubo de digestión. Los tubos de digestión conjuntamente con la bomba de gases se acoplaron al equipo de digestión el cual se programó a 450 °C por 45 minutos. Todo el procedimiento se realizó dentro de una campana de extracción.

Una vez terminada la digestión, se enfriaron los tubos en baño de arena y se agregó 200 mL de agua destilada. Se armó el equipo de destilación y se situó al final del tubo refrigerante un erlenmeyer con 25 mL de solución de ácido bórico 3 % (Fisher Scientific) más cinco gotas de indicador Tashiro. En un balón de 500 mL se colocó la solución resultante del tubo de digestión y se introdujo un papel de pH (Merk). Se añadió solución de hidróxido de sodio 40 % (Sigma Aldrich) hasta obtener un viraje completo del papel de pH, de estado ácido a alcalino. Se destiló la solución del balón de 500 mL por 30 minutos a partir de la primera gota recolectada en la solución de ácido bórico.

Posteriormente, se tituló el destilado del erlenmeyer contra una solución valorada de ácido clorhídrico 0.2 N (Merk) hasta lograr el viraje del indicador, de color verde a un ligero tono violeta. Se anotó el volumen de ácido clorhídrico utilizado y se empleó la Ecuación 4.4

para la determinación del porcentaje de nitrógeno y la Ecuación 4.5 para la determinación del porcentaje de proteínas.

$$\% N = \frac{[(V_{HCl} - V_{Blanco}) * M_{HCl} * 14,01 \text{ g/mol}]}{\text{Peso muestra} * 10} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Dónde:

% N = Porcentaje de nitrógeno

V_{HCl} = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación

V_{Blanco} = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación del blanco

M_{HCl} = Molaridad del ácido clorhídrico

$$\% \text{Proteína} = \% N * F \quad \text{Ec. 4.5}$$

Dónde:

% P = Porcentaje de proteína

% N = Porcentaje de nitrógeno

F = Factor de conversión (6.25)

4.5. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

La espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR) es una técnica de análisis químico y estructural. Por medio de la vibración molecular en la región del infrarrojo del espectro electromagnético, los grupos funcionales que componen una muestra generan frecuencias o longitudes de onda únicas e identificables. La absorción de estas frecuencias identifican los compuestos que integran la muestra de estudio. Por otro lado el acoplamiento ATR (Reflectancia total atenuada) confiere la posibilidad de analizar muestras tanto sólidas como líquidas (Morocho, 2017).

La caracterización por FTIR-ATR se llevó a cabo gracias a la extracción de fenoles efectuada para cada una de las muestras de goma. Mohammedlnour, Mirghani, Kabbashi, Alam, Musa y Abdullah (2017), realizaron una prueba de solubilidad; extracción en solución de metanol al 100 % y en solución acuosa de metanol al 50 % en gomas de *Acacia*. En el presente trabajo, se reprodujo la misma prueba de solubilidad previa al análisis, debido a la facilidad de la goma de algarrobo de disolverse en agua. Posteriormente se efectuó el análisis respectivo, aplicando las metodologías propuestas por Lopez, et al. (2012), Senthilkumar, Sivakumar, Arulmozhi y Mythili (2017) y Vasile, Romero, Judis y Mazzobre (2016) para la técnica FTIR.

Para la extracción se pesó 5 g de cada una de las muestras de goma triturada en vasos de precipitación de 100 mL. Las gomas fueron disueltas en 50 mL de metanol absoluto (Sigma Aldrich), con ayuda de un agitador de vidrio. Una vez disueltas, las muestras fueron maceradas por 48 horas a oscuras evitando el contacto con la luz. Pasadas las 48 horas, cada una de las soluciones fueron filtradas con papel filtro cuantitativo (MN 640 m) y con el uso de un kitasato acoplado a una bomba de vacío. Las soluciones resultantes se concentraron a 40 °C en una estufa, marca Binder ED 115, hasta eliminar completamente la solución acuosa. Se repitió el mismo procedimiento de extracción para muestras disueltas en 50 mL de una solución al 50% de metanol en agua destilada. Posteriormente, las extracciones pasaron a ser analizadas por el equipo FTIR-ATR.

Se empleó un equipo de espectroscopia de infrarrojos Perkin Elmer BX, ATR miracle. Previo al análisis, se procedió a limpiar el ATR con hisopos de algodón e isopropanol, Merck. Mediante el software Spectrum se leyó el espectro de fondo y seguido se realizaron las lecturas de las muestras. Se obtuvieron los espectros infrarrojos entre los 4000 y 650 cm^{-1} de longitud de onda con 10 exploraciones, 2 cm^{-1} de intervalo, 4 cm^{-1} de resolución en transmitancia % T. A continuación, se transformaron los espectros de transmitancia % T a unidades de absorbancia (U.A) para una mejor apreciación de picos y comparación con literatura. Finalmente, se limpió el ATR retirando todo residuo de goma.

4.6. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES POR UV-VIS

La espectroscopia ultravioleta visible (UV-Vis) es una técnica para la identificación y cuantificación de compuestos orgánicos o metales de transición en una disolución. Se basa en la absorción de radiación electromagnética de las regiones visible o ultravioleta por una molécula, dando como resultado el desprendimiento de un electrón de su estado basal a su estado excitado, liberando en el proceso energía detectable (Morocho, 2017).

Para este trabajo se efectuó una derivatización en base al método Folin-Ciocalteu, el cual consiste en la unión del reactivo hacia el analito o compuesto de interés, para la formación de un complejo coloreado y la posterior medida de su absorción de luz a una longitud de onda específica. Los compuestos fenólicos intervienen activamente en la bioquímica de un organismo vegetal como mecanismos de defensa. Estudios indican que la ingesta de alimentos con contenido de compuestos fenólicos, reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer Mohammedelnour, et al. (2017). Mohammedelnour, et al. (2017) y Kassem y Abdullah (2015) realizaron pruebas similares para gomas de *Acacia* mediante una extracción fenólica en metanol, por lo que fueron tomados como guía.

Para la extracción fenólica presente en las cuatro muestras de goma, se pesó en balanza analítica 1 g de goma triturada. Las muestras se disolvieron en 10 mL de solución acuosa de metanol al 50 % (Sigma Aldrich). Las soluciones se maceraron por 48 horas a oscuras evitando el contacto con la luz. Terminada la maceración, las disoluciones se filtraron con papel filtro cuantitativo (MN 640 m) y empleando un kitasato acoplado a una bomba de vacío. Las soluciones resultantes se almacenaron en refrigeración hasta el análisis.

Para la elaboración de la curva de calibración, se empleó ácido gálico marca Merck al 99 % de pureza. Se preparó una solución madre de ácido gálico al 0,1 g/L y se aforó con agua destilada en balón de 25 mL. Además, se elaboró una solución al 20 % (p/v) de carbonato de sodio (Merck). Se elaboraron soluciones patrón de ácido gálico, a partir de la solución madre, de concentración 0, 1, 2, 3, 4, 5 mg/L agregando 250 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma Aldrich) y 750 μ L de carbonato de sodio al 20 % (p/v) a cada una; se aforó

con agua destilada en balones ámbar de 10 mL. Las soluciones se reposaron por 2 horas a temperatura ambiente. Finalmente se midió la absorbancia a 765 nm de longitud de onda en el espectrofotómetro UV/Vis (Agilent Technologies Cary 60). Se obtuvo la curva de calibración con los parámetros de calidad.

El tratamiento de la muestra consistió en tomar 100 µL de la solución producto de la extracción. Se añadió 0,4 mL de agua destilada y 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu. Se dejó reposar por 5 minutos y a continuación se colocó 1 mL solución de carbonato de sodio al 20 % (p/v). Nuevamente, se dejó reposar por 2 horas a oscuras evitando el contacto con la luz. Una vez transcurrido el tiempo, se leyó la absorbancia a 765 nm de longitud de onda en el equipo UV-Vis. Finalmente, se determinó la concertación de fenoles expresados en mg de ácido gálico /100 g o GAE/100 g.

4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico aplicado en el presente trabajo de disertación tuvo el objetivo de determinar la semejanza estadística entre los resultados obtenidos de la goma de algarrobo, de las tres zonas de muestreo y la goma arábica, grado UPS. Todo parámetro, pH, conductividad, densidad, viscosidad, cenizas, proteínas y contenido fenólico total fue tomado en cuenta para la comparación. Por lo tanto, todos los datos de cada una de las zonas fueron comparados contra los datos de goma arábica de su respectivo parámetro. Se empleó el programa Microsoft Excel para el análisis estadístico, así como la media aritmética, desviación estándar, prueba t y ANOVA presentes en este trabajo de disertación.

4.7.1. MEDIA

La media, media aritmética o promedio es el valor resultante de la suma de todos los datos o conjunto de valores divididos entre el número total de los datos. Se define por la siguiente fórmula matemática, Ecuación 4.6:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde:

\bar{X} = media aritmética.

X_i = Dato o valor experimental.

n = Número total de valores que integran el conjunto.

La obtención de repeticiones permite estimar el error experimental producto del error humano. Mientras mayor sea el número de repeticiones para cada experimento, mayor será la precisión del resultado final (Polo, 2012). En el presente trabajo todos los valores de los análisis tuvieron tres repeticiones, por lo que se calculó la media para cada uno de ellos.

4.7.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar es un parámetro estadístico que mide la variabilidad de un conjunto de datos. Identifica la dispersión promedio alrededor de la media, es decir se refiere a la separación entre los resultados de un experimento (Polo, 2012). La desviación estándar está dada por la siguiente ecuación, Ecuación 4.7:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 4.7}$$

Donde:

S = Desviación estándar.

X_i = Dato o valor experimental.

\bar{X} = media aritmética.

n = Número total de valores que integran el conjunto.

De igual manera, la desviación estándar se calculó para cada parámetro estudiado en el presente trabajo de disertación, con la finalidad de evaluar la precisión de los métodos utilizados, tanto para las muestras de goma de algarrobo como para la muestra de goma arábica.

4.7.3. PRUEBA t DE STUDENT

La prueba t de Student, prueba t de estudiante o Test-T tiene el objetivo de comparar dos conjuntos de datos, grupos o muestras de tamaño ≤ 30 , en la cual el estadístico empleado presenta una distribución de t de Student. Además, la prueba t está diseñada para examinar las diferencias entre dos muestras que tengan una distribución normal y homogeneidad en sus varianzas. Al obtener el valor t se comparará con los valores tabulados para el nivel de confianza aplicado al presente trabajo. Si el valor t calculado sobrepasa el valor t tabulado, existirá una diferencia significativa entre los resultados de ambos grupos hacia el nivel de confianza elegido. En caso de que el valor t calculado no sobrepase el valor t tabulado, no existirá diferencia significativa entre los dos grupos de resultados (Sánchez, 2015). En este trabajo, el grupo de resultados de la Muestra 1 será la goma arábica grado alimenticio y la Muestra 2 será el grupo de resultados obtenidos de goma de algarrobo, de las tres zonas de muestreo, así se logrará verificar si dichos resultados difieren significativamente. El nivel de confianza a emplear será de 95 %. Las ecuaciones a emplear serán:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1X_2} * \sqrt{\frac{2}{n}}} \quad \text{Ec. 4.8}$$

$$S_{X_1X_2} = \sqrt{\frac{1}{2} (S_{X_1}^2 + S_{X_2}^2)} \quad \text{Ec. 4.9}$$

Donde:

t = Valor t calculado.

S = Desviación estándar.

\bar{X}_1 = Media aritmética muestra 1.

\bar{X}_2 = Media aritmética muestra 2.

n = Número total de valores que integran el conjunto.

4.7.4. ANOVA

El análisis ANOVA (Analysis of Variance del inglés) o análisis de varianza, constituye una herramienta estadística de gran aplicabilidad. Está conformada por un conjunto de modelos estadísticos los cuales prueban la igualdad existente entre las medidas poblacionales por medio del análisis de varianza. La varianza cumple una función importante en un análisis estadístico, una varianza grande sugiere una alta diferencia entre los datos con respecto a la media, mientras que una varianza pequeña señala una baja variabilidad y menor diferencia entre los datos recopilados en un determinado estudio. El análisis de ANOVA se enfoca en comparar varios grupos en una variable cuantitativa y determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias (Polo, 2012).

Para determinar la existencia de diferencias estadísticas, el análisis de ANOVA hace uso del estadístico de Fisher. Por lo tanto, el estadístico de Fisher determina qué tanta variabilidad existe entre las muestras. Así mismo, certifica que la diferencia entre los datos no es debido a la variabilidad si no a un factor. El modelo aplicado en el presente trabajo de disertación fue el Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo. Se determinó la existencia de igualdad o diferencia estadística de los datos globales, tanto de goma de algarrobo, zonas 1, 2 y 3, y de la goma arábica, de cada uno de los parámetros realizados en el presente estudio. El análisis generó una probabilidad estadística, aceptando o rechazando la hipótesis nula o la hipótesis alternativa propuesta.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

A continuación, en la Tabla 5.1 se muestran los promedios obtenidos en los parámetros de pH, conductividad, densidad y viscosidad, medidos en soluciones acuosas de las muestras de goma de algarrobo a las concentraciones de 10, 30, 50 y 80 %, zonas 1, 2 y 3 y goma arábica grado UPS. Así mismo, los resultados incluyen la desviación estándar, calculada en cada medición, indicando el grado de dispersión de los datos.

Tabla 5.1. Valores experimentales de pH, conductividad, densidad y viscosidad para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo

| Parámetro | Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma de Algarrobo |
|--|---------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|
| pH 20 °C | 10 % | 5,02 ± 0,08 | 5,04 ± 0,02 | 4,99 ± 0,05 | 5,05 ± 0,01 |
| | 30 % | 4,99 ± 0,06 | 5,00 ± 0,03 | 5,00 ± 0,03 | 5,02 ± 0,03 |
| | 50 % | 4,93 ± 0,04 | 5,02 ± 0,01 | 4,99 ± 0,01 | 5,01 ± 0,02 |
| | 80 % | 4,96 ± 0,01 | 4,89 ± 0,01 | 4,99 ± 0,05 | 4,90 ± 0,03 |
| Conductividad 20 °C (μS/cm) | 10 % | 260,7 ± 2,1 | 268,1 ± 1,5 | 233,4 ± 0,4 | 295,5 ± 0,6 |
| | 30 % | 479,3 ± 0,7 | 469,9 ± 1,3 | 425,0 ± 1,6 | 505,8 ± 0,2 |
| | 50 % | 481,8 ± 0,1 | 465,3 ± 0,1 | 423,0 ± 1,9 | 487,2 ± 2,0 |
| | 80 % | 332,9 ± 2,8 | 329,5 ± 7,5 | 307,2 ± 2,7 | 342,4 ± 1,5 |
| Densidad 25 °C (g/mL) | 10 % | 1,031 ± 0,002 | 1,029 ± 0,003 | 1,028 ± 0,004 | 1,030 ± 0,002 |
| | 30 % | 1,080 ± 0,002 | 1,081 ± 0,001 | 1,081 ± 0,004 | 1,085 ± 0,003 |
| | 50 % | 1,126 ± 0,001 | 1,126 ± 0,002 | 1,102 ± 0,003 | 1,125 ± 0,002 |
| | 80 % | 1,191 ± 0,001 | 1,182 ± 0,002 | 1,115 ± 0,006 | 1,157 ± 0,004 |
| Viscosidad 25 °C (cP) | 10 % | 3,93 ± 0,04 | 3,35 ± 0,03 | 3,15 ± 0,01 | 4,41 ± 0,02 |
| | 30 % | 30,03 ± 0,25 | 28,82 ± 0,19 | 22,29 ± 0,26 | 38,78 ± 0,56 |
| | 50 % | 119,45 ± 1,58 | 121,07 ± 0,76 | 91,93 ± 0,18 | 199,22 ± 1,37 |
| | 80 % | 793,23 ± 9,15 | 766,06 ± 22,17 | 685,54 ± 4,27 | 1261,11 ± 9,24 |

5.1.1. pH

En el análisis de pH se encontró que las muestras de goma de algarrobo requieren de mayor tiempo de agitación para obtener soluciones homogéneas, en comparación con la goma arábica, la cual forma soluciones homogéneas con mayor facilidad. Botero, Beltran, Rincon y Reyes (2017), reportan que la goma de algarrobo forma disoluciones acuosas de altos porcentajes, hasta 97,3 % en agua, pero tienen escasa afinidad en solventes orgánicos: 5,71 % en etanol y 13,72 % en acetona. De igual manera, la goma arábica posee las mismas afinidades, escasa en solventes orgánicos y alta en agua (Mohammedlnour, et al. 2017). En la Tabla 5.1 se presentan los datos de pH a las cuatro diferentes concentraciones para cada muestra, las repeticiones, los promedios y desviaciones estándar (SD) respectivos. Se observa que las muestras de goma de algarrobo fueron levemente más ácidas que la goma arábica; sin embargo se puede apreciar que el pH fue similar para todas las concentraciones, ligeramente ácido.

La acidez, de los dos tipos de gomas, está vinculada principalmente hacia la cantidad de ácido arábico-galactano, ácidos urónicos y sales de polisacáridos ácidos presentes (Hassan, 2008; Botero et al., 2017). Se han reportado valores de pH de 4,5 a 5,5 por López (2009), y 4,3 por Basu, et al. (2017) para goma de algarrobo. Mientras que, para goma arábica entre 4,04, 4,0 hasta 5,5 (Sibaja, 2015). Por lo tanto, los resultados encontrados en este estudio en la goma de algarrobo, están en acuerdo con los parámetros de calidad de FAO para goma arábica, comprendido entre 4,0 a 5,0 (Hassan, 2008).

Los promedios y desviaciones estándar del análisis de pH, muestran baja variabilidad. El uso de un pH-metro digital, genera mediciones instantáneas de pH para las soluciones acuosas de exudado. De igual forma, las diferentes soluciones analizadas fueron aclimatadas a temperatura ambiente, 20 °C, para evitar la variación de pH por efecto de la temperatura. Se logra apreciar que ninguna medida de desviación estándar superó el valor de 0,10. Por lo tanto, el uso de un equipo analítico redujo el nivel de dispersión entre los datos de pH y por

ende la precisión del análisis fue adecuada. Las repeticiones de cada media se muestran en el Anexo 3.

5.1.2. CONDUCTIVIDAD

Se efectuaron las mediciones de conductividad a concentraciones, 10, 30, 50 y 80 % (p/v), para evaluar su comportamiento eléctrico. La conductividad mide la cantidad de sales disueltas en una solución, que generan iones positivos e iones negativos capaces de transportar electricidad dentro de un campo eléctrico. Es una técnica no específica, incapaz de determinar los tipos de iones presentes, aunque permite cuantificar el efecto combinado de todos los iones existentes (UOC, 2004).

La Tabla 5.1 muestra las conductividades en $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las muestras de algarrobo de las tres zonas de muestreo y goma arábica a una temperatura ambiente de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las tres repeticiones realizadas en las diferentes soluciones acuosas de goma, a sus respectivas concentraciones, se detallan en el Anexo 4. La conductividad de las sustancias cambió en cada concentración, reflejando un comportamiento totalmente diferente en comparación a las lecturas de pH.

En la Tabla 5.1 se observa que la goma arábica presentó valores más elevados de conductividad en comparación con las tres muestras gomas de algarrobo, siendo el valor de $506,0\ \mu\text{S}/\text{cm}$ el más alto. Esto se puede apreciar en todas las concentraciones. Por otro lado, la goma de algarrobo de la zona 3 tuvo los valores más bajos de conductividad llegando hasta $426,0\ \mu\text{S}/\text{cm}$ como el valor más alto. Esto se puede deber a que los árboles de la zona 3 son jóvenes, por lo que los minerales absorbidos por la planta son aprovechados en el crecimiento y no son conducidos hacia la goma; por ello en el caso de la goma arábica se recomienda su obtención a partir de los 5 a 7 años, una vez que el árbol este completamente desarrollado (Hammad y Mohammed, 2018). Las zonas 1 y 2 presentaron valores cercanos o similares de conductividad con valores máximos de $481,9$ y $471,4\ \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente.

En todos los casos los datos de conductividad de las gomas no tienden a ser lineales. Cada muestra presentó un valor máximo de conductividad y posteriormente un declive. Para la goma de algarrobo de la zona 1, su valor máximo se encontró entre una concentración del 30 % al 50 %; mientras que para la goma de algarrobo de las zonas 2, 3 y goma arábica, los valores máximos se ubicaron a una concentración del 30 %. A partir de dichas concentraciones, la conductividad disminuyó. Este es un comportamiento común en soluciones electrolíticas, en donde al incrementar la concentración se llega un máximo debido a una alta dispersión de iones dispuestos para conducir la electricidad, luego existe una disminución de conductividad debido a la saturación de iones, por lo que dificultan la correcta conducción de corriente (Jain, 2014). Los promedios corroboran este comportamiento, con valores elevados a concentraciones de 30 y 50 % y disminución de conductividad a 80 % por el efecto de saturación. Mientras que, las desviaciones estándar presentaron valores mínimos a concentraciones de 30 y 50 %, debido a valores más precisos y uniformes, además de una baja dispersión de datos; y desviaciones estándar con valores elevados debido a datos sin uniformidad y disminución de precisión a causa de una saturación de iones a concentración de 80 %.

La alta solubilidad de las gomas en agua permite la formación de los iones a partir de ácidos, bases, minerales o sales existentes. La goma arábica contiene sales de Na, K, Ca, P, las cuales están en concentraciones de 100, 9500, 7000 y 6000 ppm respectivamente, según los estándares propuestos por la FAO (Hassan, 2008); mientras que Sibaja (2015) incluye la presencia de iones de Fe, Cu, Mn y Zn a 119, 3, 5 y 6 ppm, respectivamente. Consecuentemente, los altos valores de conductividad concuerdan con la cantidad de iones presentes para goma arábica en relación con la goma de algarrobo. Una mayor concentración de iones facilita un mayor paso de electricidad en una disolución.

Por otro lado, la goma de algarrobo contiene diferentes niveles de iones. Vasile et al. (2013) indican que los iones en abundancia son Na, K y Ca. Botero et al. (2017) establecen concentraciones de 26,9 ppm para Ca, 9,32 ppm para Na, 3,77 ppm para K y pequeñas cantidades de diferentes metales como Fe, Pb, Ni, Co y Cr a 0,5, 0,16, 0,03 y 0,02 ppm respectivamente, en gomas de *Prosopis juliflora*. De igual manera, Sibaja (2015) indica la

presencia de iones como Fe, Cu, Mn y Zn con contenido de 32, 4, 6 y 3 ppm en muestras de gomas *Prosopis laevigata*. Dichas variaciones entre las gomas de algarrobo con la goma arábica son visualizadas en las mediciones de conductividad. Por lo que se puede decir que los árboles *Prosopis* no poseen la misma capacidad, que los árboles de *Acacia*, para captar minerales del suelo; cabe recalcar que las propiedades del suelo, en el cual el árbol crece, también influye en el contenido de iones de una goma (Vasile et al., 2013). Las soluciones acuosas al 30 % (p/v), tanto de goma arábica como de algarrobo, presentaron las más altas medidas de conductividad; siendo esta concentración la idónea para la formación de iones en una solución acuosa.

5.1.3. DENSIDAD

La densidad es una medida de utilidad en lo que concierne a gomas naturales. Permite medir el grado de compactación o de empaquetamiento que posee un exudado o goma. Esto quiere decir, qué tan unidas o hasta qué punto las macromoléculas están agrupadas (Yaumi, Murtala, Muhd y Saleh, 2016). En la Tabla 5.1 se muestran los datos de densidad en g/mL para soluciones acuosas de goma arábica y de algarrobo. Se aprecian valores altos de densidad, para los cuatro tipos de gomas, como consecuencia de sus altos pesos moleculares. Además, por medio de las cuatro concentraciones, se evaluó el comportamiento de las gomas; desde concentraciones bajas hacia concentraciones altas. El Anexo 5 contiene las tres repeticiones efectuadas en el presente análisis.

En la Tabla 5.1 se observa que la densidad se incrementó a medida que la concentración aumentó. La muestra de la zona 3 presentó los valores más bajos; lo que se le puede atribuir a la edad del árbol, debido a una mayor cantidad de agua en la goma y por ende una menor densidad. Las densidades de las gomas de algarrobo de la zona 1 y 2 fueron ligeramente mayores en comparación con la goma arábica. Los datos de goma de algarrobo son comparables con los reportados para la especie de *Prosopis juliflora*, por Botero et al. (2017), con valores de 1,021 g/cm³ al 10 % y 1,076 g/cm³ al 30 %. Los promedios, por otro lado, mostraron una similitud entre los resultados obtenidos de cada muestra de goma; tal como se manifestaron los valores al 10 y 30 % de concentración. De la misma manera, los

datos de desviación estándar, para todas las concentraciones, fueron bajos indicando una alta precisión en la toma de mediciones. Por lo tanto, las cuatro muestras de gomas, arábica y de algarrobo, indicaron una capacidad semejante para aumentar la densidad de un líquido. Estas propiedades, justifican las razones por las cuales las gomas naturales son elegidas en varias áreas de la química industrial.

5.1.4. VISCOSIDAD

La viscosidad de las gomas se debe a las macromoléculas existentes. Al poseer grupos hidroxilo en su estructura las moléculas atrapan fácilmente agua, modificando la reología del líquido (EPSA, 2013). La temperatura ayuda a incrementar la viscosidad de una goma, pero la acción térmica degrada las moléculas (Scicolone, 2002). Las gomas tienen la característica de otorgar mayor viscosidad a un líquido a bajas concentraciones (EPSA, 2013).

En este estudio se encontró que la goma arábica es más viscosa que la goma de algarrobo, ver Tabla 5.1. En todas las concentraciones la goma arábica obtuvo valores altos; mientras que la goma de algarrobo obtuvo valores menores. Los cálculos respectivos se muestran en el Anexo 6, además de las tres repeticiones reportadas en cada concentración. Dicha diferencia de viscosidad ya ha sido reportada por Lopez et al. (2012), en donde se indican que la goma arábica dispone de grupos macromoleculares de mayor tamaño y por ende un mayor peso molecular, a lo que se le atribuye sus propiedades únicas de viscosidad. Para este estudio se determinó la viscosidad relativa, que describe la resistencia de una sustancia a fluir debido al rozamiento entre sus moléculas, medido en cP (centipoise), equivalente a 10^{-3} Pascal por segundo. Por otro lado, la viscosidad intrínseca, viscosidad de las gomas en función del peso molecular promedio, es reportada en varios estudios de goma de *Prosopis* y de *Acacia*. Lopez et al. (2012), establecen valores de viscosidad intrínseca de 8,7 mL/g para *Prosopis* spp y de 17, 7 mL/g para goma de *Acacia*, siendo la goma arábica mayor en relación a la goma de algarrobo. Botero et al. (2017) también manifiestan bajos valores de viscosidad intrínseca para la goma de algarrobo, 6,9 mL/g, lo que adjudica al alto grado de compactación macromolecular.

La precisión, en la obtención de datos por medio del viscosímetro de Ostwald, se dificulta en altas concentraciones; esto a causa de la elevada viscosidad que presentan las soluciones acuosas de goma. Consecuentemente, la desviación estándar de mayor proporción correspondió a la concentración del 80 %. Las muestras de la zona 3 presentaron los valores más bajos de viscosidad en relación a las muestras de zonas 1 y 2, con valores semejantes. Los autores Kauther y Hussien, (2018) proponen, para gomas de *Acacia*, que las gomas con mayor viscosidad provienen de árboles entre 10 a 15 años de edad.

5.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, CENIZAS Y PROTEÍNA

Los análisis del porcentaje de humedad, cenizas, y proteína fueron elaborados con el fin de establecer las posibles semejanzas presentes en las gomas de algarrobo y goma arábica. Los valores promedio de cada determinación se demuestran en el Tabla 5.2, de igual manera la desviación estándar obtenida en cada parámetro.

Tabla 5.2. Porcentajes de humedad, cenizas y proteína para las tres muestras de goma de algarrobo y goma arábica

| Parámetro | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| % Humedad | 9,95 ± 0,05 | 9,85 ± 0,04 | 10,45 ± 0,07 | 12,27 ± 1,04 |
| % Cenizas | 3,81 ± 0,22 | 4,02 ± 0,06 | 2,96 ± 0,10 | 4,15 ± 0,19 |
| % Proteína | 3,04 ± 0,04 | 2,98 ± 0,04 | 2,60 ± 0,04 | 1,83 ± 0,03 |

5.2.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD

En la Tabla 5.2 se presentan los porcentajes de humedad obtenidos durante el proceso de deshidratación de los cuatros tipos de muestra de goma. En el Anexo 7 se muestra el cálculo efectuado en este análisis. Además, se presentan las repeticiones respectivas, que

sustentan la información presentada. Los resultados para goma de algarrobo reflejaron valores similares entre las zonas 1 y 2; mientras que, la zona 3 presentó mayor porcentaje de humedad debido al factor de edad. La goma arábica, por otro lado, presentó el porcentaje más alto de humedad. Con estos porcentajes se podría decir que las gomas de algarrobo no contienen una cantidad de agua significativa para promover el desarrollo microbiológico.

Los resultados de desviación estándar fueron bajos en las tres muestras de goma de algarrobo; en cambio, el valor para la goma arábica, de 1,04, fue el mayor. Esto puede deberse a la presentación de la muestra de goma arábica, la cual al estar finamente triturada, incrementa su alta área superficial y como consecuencia, es más susceptible a atrapar humedad del medio ambiente.

Los datos de humedad de goma arábica están dentro de los parámetros establecidos por la FAO (Coppen, 1995), en donde el rango de aprobación va desde el 12 al 15 %. En el caso de la goma de algarrobo, el porcentaje de humedad no está dentro del límite de la FAO, pero está acorde con las mediciones recopiladas por Botero et al. (2017) con un porcentaje de 9 % para *Prosopis juliflora*. López et al. (2012) por otro lado indica un porcentaje de 9,75 % de humedad para exudados provenientes del árbol de *Prosopis*. Mientras que Reséndiz, et al. (2016) reportan un valor de 9,25 % para *Prosopis laevigata*. Los resultados demostraron que las zonas 1 y 2, las cuales están constituidas por árboles maduros, presentaron los porcentajes más bajos de humedad. De igual manera, este análisis de humedad reveló la peculiaridad de la goma de algarrobo para captar menos agua del medio, que la goma arábica.

5.2.2. PORCENTAJE DE CENIZAS

El contenido de cenizas mide el nivel de residuo inorgánico presente en las gomas después de su incineración. El tipo de suelo influye en este parámetro (Hassan, 2008; Botero et al., 2017). En Tabla 5.2 se muestran los porcentajes de ceniza obtenidos durante el proceso de calcinación de muestras de goma arábica y goma de algarrobo. En el Anexo 8 se adjunta un ejemplo del cálculo llevado a cabo además de las repeticiones respectivas. Los porcentajes

de cenizas, entre los dos tipos de gomas, fueron bastante similares, difiriendo en 1 % aproximadamente.

Estos valores se correlacionaron con los datos obtenidos en la determinación de conductividad, en donde la goma arábica con mayor proporción de minerales presentó las mediciones más altas de conductividad y en este caso de porcentaje de cenizas. De igual manera sucedió con las gomas de algarrobo de las tres zonas, en el cual la zona 3 tuvo los valores más bajos y las zonas 1 y 2 valores semejantes. Por otro lado, la Tabla 5.2 muestra valores de desviación estándar bajos para todas las muestras de goma indicando precisión en los resultados.

Los resultados son comparables con varios estudios similares en especial para la goma de *Prosopis juliflora*, con una medición reportada de 3 % de cenizas por Botero et al. (2017). Existe una pequeña variación entre los porcentajes reportados por Lopez et al. (2012) y Vasile et al. (2013), 2,61 % y 2,91 % respectivamente. Mientras que para la goma arábica los porcentajes obtenidos están dentro del rango establecido para gomas de *Acacia*, de 1,9 a 4,2 % (Sibaja, 2015). En el apartado de conductividad, la bibliografía consultada mostró que las concentraciones de Na, K y Ca, en goma arábica, sobrepasan los valores reportados en goma de algarrobo, además carece de ciertos elementos como Mn o Zn. Por consiguiente, los datos porcentuales de cenizas logrados en este ensayo reflejan cómo la goma arábica superó a la goma de algarrobo en contenido inorgánico.

5.2.3. PORCENTAJE DE PROTEÍNA

El porcentaje de proteínas de las gomas o exudados gomosos fueron bajos. En la Tabla 5.2 se muestran los porcentajes del contenido proteico alcanzados mediante el método Kjeldah. Los resultados fueron producto de la aplicación de las ecuaciones 4.4 y 4.5, en donde el primer paso fue la determinación de nitrógeno total y consecutivamente la determinación del porcentaje de proteínas, ver Anexo 9.

Se estima una existencia de 1,5 a 3 % del contenido de proteína en goma arábica. Por otro lado, se establece internacionalmente como parámetro de buena calidad a un 3 %, usada especialmente en el área farmacéutica; mientras que para la goma arábica comercial se estipula un aproximado del 2 % de proteína. (Abdalbasit, 2018). En cambio, para la goma de algarrobo se ha encontrado que el contenido de proteína es mayor a la goma arábica, lo que se traduce en emulsiones más estables (López et al., 2006). Entre las investigaciones realizadas, López et al. (2012) reportan un contenido de proteína alrededor del 6 % para el género *Prosopis*, el doble al de goma de *Acacia*. Otros autores como Botero et al. (2015) establecen un porcentaje del 5,3 % para *Prosopis juliflora*, cercano al valor encontrado por López. Otro estudio indica una presencia del 15,72 %, para la goma de *Prosopis alba*, un valor con una alta diferencia (Vasile et al., 2013). Reséndiz et al. (2016), en cambio señalan un contenido del 3 % y finalmente, Sibaja (2015) obtiene un valor de 1,97 %, para la goma de *Prosopis laevigata*.

En este trabajo se obtuvo un valor de 1,83 % de proteína para la goma arábica, por lo que concuerda con el rango reportado por la bibliografía. Así mismo, dicho valor se aproxima al porcentaje usado en gomas de uso comercial, pero con una diferencia del 1 % para gomas de buena calidad. En cambio, se alcanzaron valores aproximados al 3 % para la goma de algarrobo de las zonas 1 y 2, lo que concuerda con el trabajo de Reséndiz et al. (2016); mientras que la goma de la zona 3 se aleja ligeramente, con un porcentaje de 2,6 %. Las tres muestras de algarrobo difieren con el trabajo efectuado por Botero et al. (2015), en donde el estudio se realizó sobre la misma especie, *Prosopis juliflora*. Los resultados confirman que la goma de algarrobo de las tres zonas de muestreo, superó a la goma arábica en contenido proteico. Por ende, una mayor cantidad de proteína incrementa las propiedades emulsificantes y su valor nutricional.

Por otro lado, la dispersión de los datos para las tres repeticiones obtenidas en la determinación porcentual de proteína fue baja; así, los valores de desviación estándar para el presente análisis, fueron similares y mínimos para todas las muestras de exudado. Por lo tanto, el método empleado de la AOAC 920.176 permite la correcta determinación de proteínas para este tipo de muestras de goma natural.

A continuación, en la Tabla 5.3, se presentan los resultados del control usado en la determinación de proteínas. La AOAC establece al reactivo de L-triptófano como estándar para determinar el porcentaje de recuperación en un método Kjeldahl para proteínas. Se reporta un valor teórico de 13,72 % empleando una cantidad teórica de 0,2 g (AOAC 2005). La Tabla 5.3 exhibe las tres repeticiones efectuadas con sus respectivos porcentajes.

Tabla 5.3. Porcentaje de nitrógeno (% N) teórico y experimental para el estándar de L-triptófano

| L-triptófano Experimental. (N %) | L-triptófano Teórico. (N %) | % Recuperación |
|---|------------------------------------|-----------------------|
| 10,77 | 13,72 | 78,50 |
| 11,14 | 13,72 | 81,20 |
| 10,83 | 13,72 | 78,94 |

Los porcentajes de recuperación fueron relativamente bajos, entre 78,50 y 81,20 %. Varios factores pudieron estar implicados; pérdida de nitrógeno en el proceso de digestión debido a una expulsión repentina de nitrógeno; el empleo de un equipo tradicional de destilación, que dio paso a la pérdida cantidades de amoníaco durante su traspaso a la solución de ácido bórico. Los porcentajes alcanzados en el presente trabajo pueden ser mejorados con el uso de un equipo específico para la determinación de proteínas por el método Kjeldahl.

En base a los resultados obtenidos, el método Kjeldahl fue idóneo para la cuantificación del contenido proteico en muestras de goma seca. Es un método rápido, fiable y sencillo de realizar en un laboratorio en comparación de otros métodos de mayor complejidad como Dumas, método de Biuret, entre otras. Por otra parte, es necesario realizar más estudios entorno al género *Prosopis*. Esto con el fin de reconocer qué especies contienen una mayor o menor cantidad de proteína.

5.3. ANÁLISIS CUALITATIVO POR ESPECTROSCOPIA IR

Para optimizar los resultados en relación a calidad de espectros IR, se reprodujo una prueba de solubilidad. Senthilkumar et al. (2017) sugieren una extracción metanólica con maceración por 48 horas y evaporación a sequedad, para la identificación química de compuestos relevantes en actividad antioxidante, contenido fenólico total, flavonoides y taninos. Por otro lado, Mohammedelnour et al. (2017) indican que las gomas de *Acacia* pueden ser solubilizadas en metanol absoluto o en metanol al 50 %. En el presente trabajo se encontró que la goma arábiga grado alimenticio se disolvió en metanol absoluto, mientras que la goma de algarrobo no presentó ningún grado de disolución. En contraste, la goma de algarrobo si presentó disolución, con agitación constante, en solución acuosa de metanol 50 % a temperatura ambiente; de este modo se procedió con el análisis. Este comportamiento puede deberse a una mayor fracción proteica, estructura muy ramificada y alta compactación molecular, lo cual confiere a la goma de algarrobo una alta afinidad en agua. Las Figuras 5.1 a 5.4 muestran los espectros de infrarrojos de las tres muestras de goma de algarrobo y de goma arábiga. Cada una de ellas están representadas por la absorbancia versus el número de onda (cm^{-1}), en los cuales se identifican los picos más significativos.

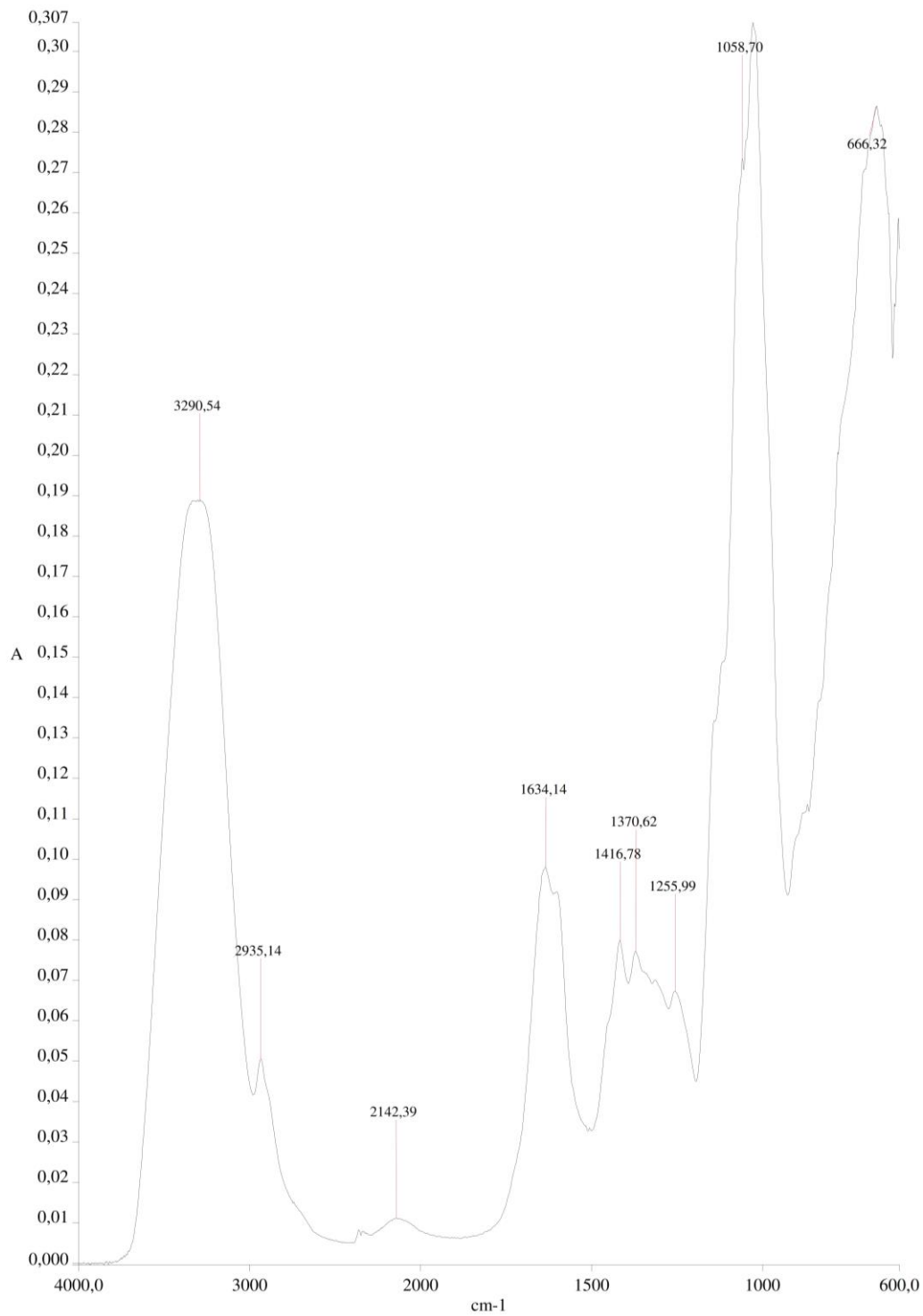


Figura 5.1. Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 1, Bahía de Caráquez

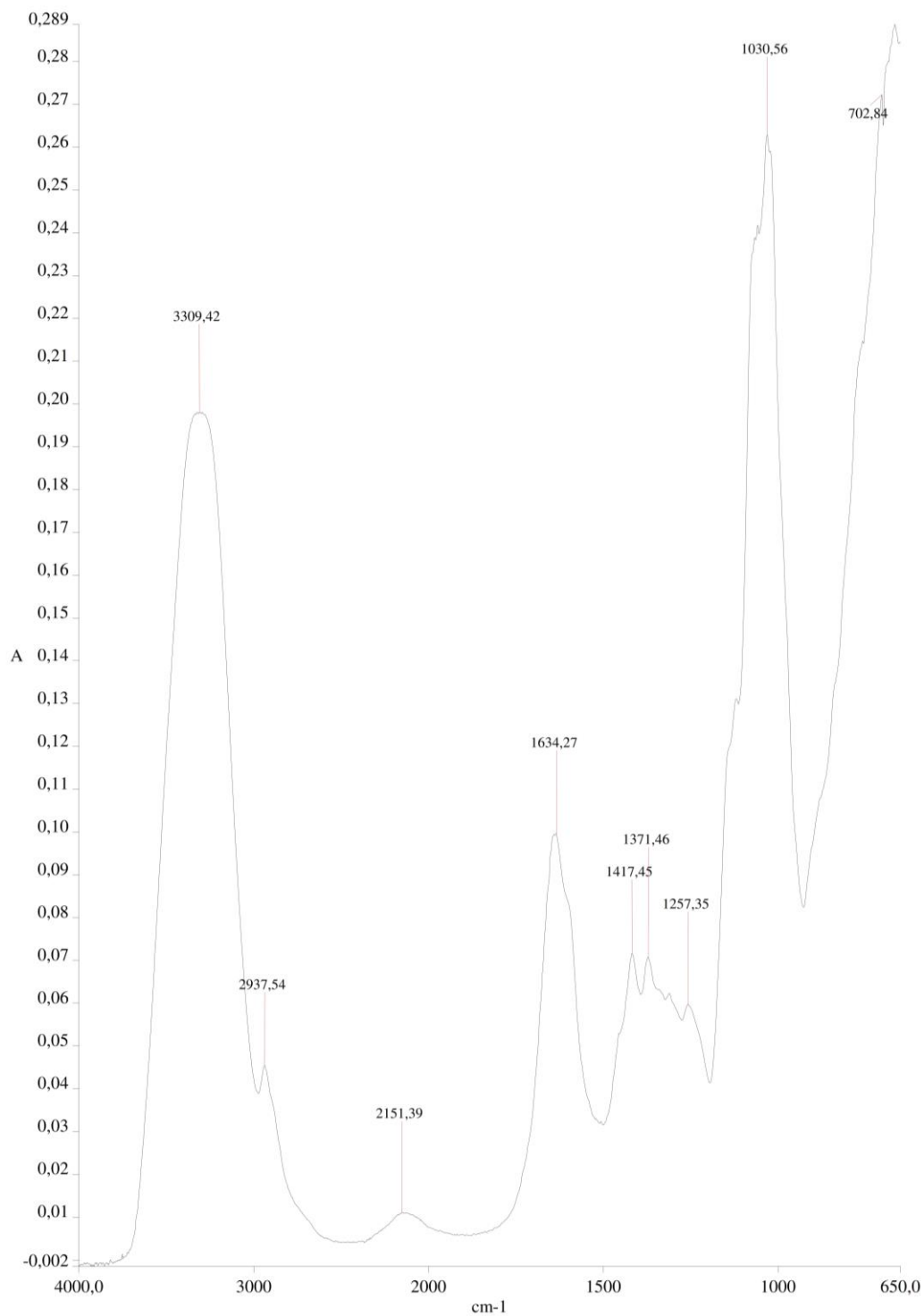


Figura 5.2. Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 2, Portoviejo

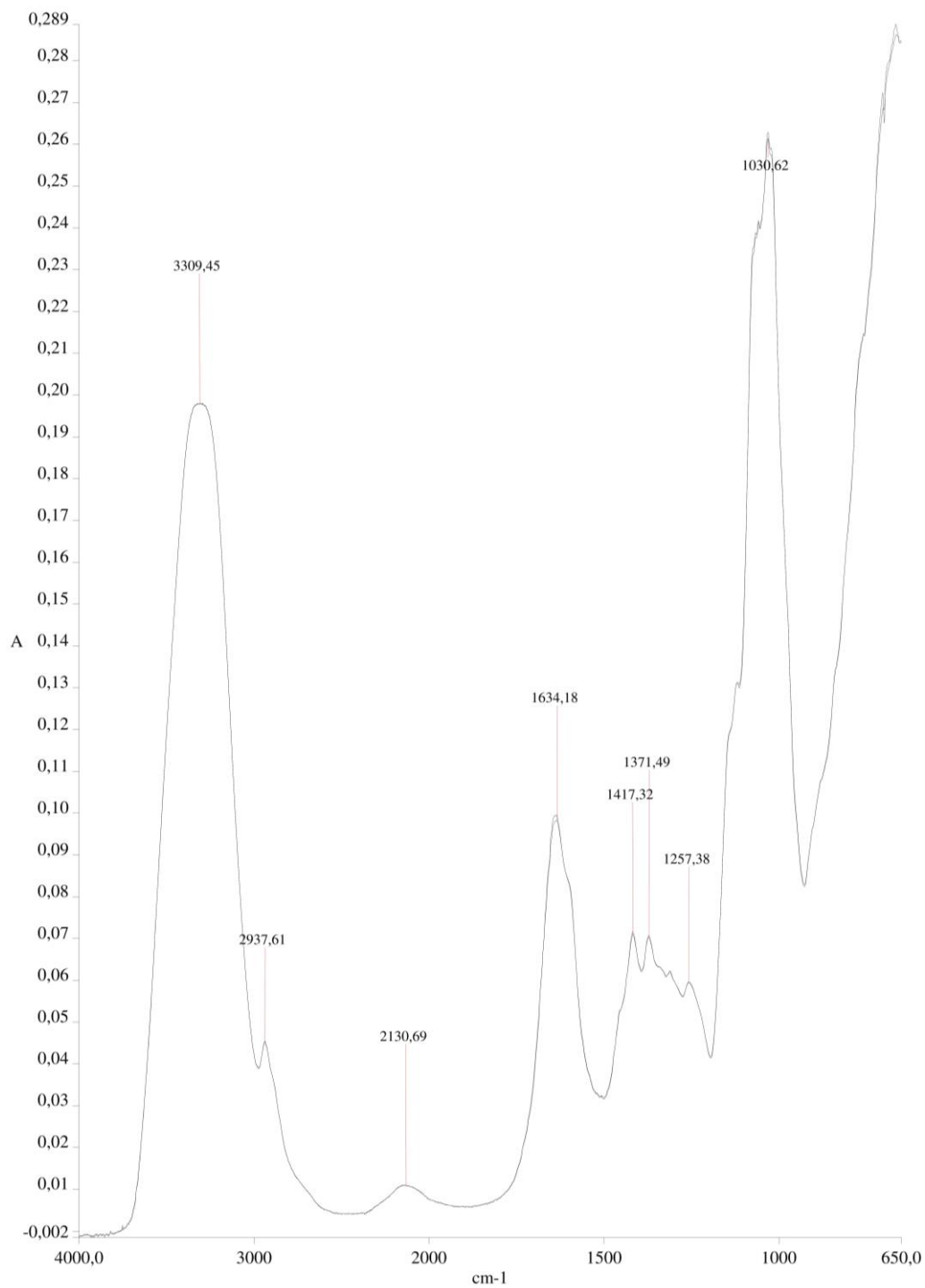


Figura 5.3. Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma de algarrobo de la zona 3, Puerto López

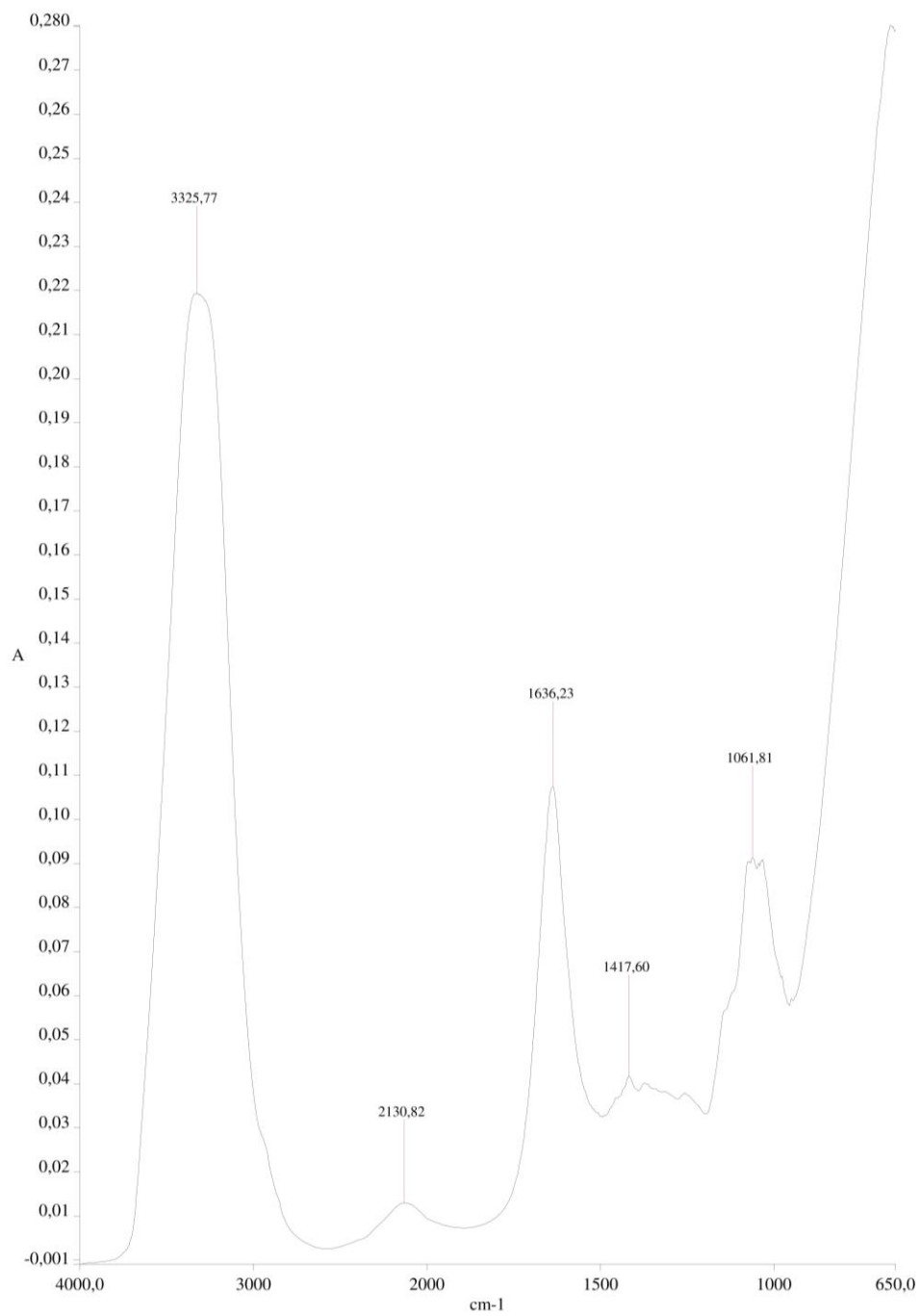


Figura 5.4. Espectro infrarrojo, absorbancia versus longitud de onda, para la goma arábica

La caracterización IR consistió en visualizar y comparar los espectros obtenidos de goma arábica con los de goma de algarrobo. Esta técnica ayuda a la identificación de los grupos químicos existentes, además de dar un espectro único del objeto de estudio. La Tabla 5.4 relaciona los picos encontrados en cada una de las muestras de goma, además de reconocer los grupos funcionales a los que pertenecen y los tipos de vibración o estiramientos generados durante el análisis de infrarrojo.

Tabla 5.4. Comparación e identificación de picos relevantes visualizados en los espectros infrarrojos de ambas gomas

| Frecuencia (cm ⁻¹) y grupos químicos | Tipo de vibración | Zona 1 (cm ⁻¹) | Zona 2 (cm ⁻¹) | Zona 3 (cm ⁻¹) | Goma Arábica (cm ⁻¹) |
|--|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Grupo OH. Fenoles y alcoholes (3210 ~ 3320) | O-H y enlace -H | 3290,54 | 3309,42 | 3309,45 | 3325,77 |
| Alcanos grupos CH ₂ (2939 ~ 2946) | Estiramiento asimétrico C-H. Enlaces O-H | 2935,14 | 2937,54 | 2937,61 | - |
| Grupos nitrilos y alquinos (2260 ~ 2100) | Estiramientos C≡C y C≡N | 2142,39 | 2151,39 | 2130,69 | 2130,82 |
| Grupos carbonilo. Flavonoides, fenoles (1629 ~ 1663) | Estiramientos C=O | 1634,14 | 1634,27 | 1634,18 | 1636,23 |
| Grupo alcanos y aromáticos | Balanceo anti simétrico | 1416,78 | 1417,45 | 1417,32 | 1417,60 |

| | | | | | |
|--|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| (1400 ~) | C-C | | | | |
| Grupo alcanos, ácidos o alcoholes (1300 ~) | Estiramiento C-C | 1370,62 | 1371,46 | 1371,49 | - |
| Grupo aminas alifáticas (1200 ~) | Estiramientos C-N | 1255,99 | 1257,35 | 1257,38 | - |
| Grupo esterés, alcohol, ácidos (1014 ~) | Estiramiento C-O | 1058,70 | - | - | 1061,81 |

Este análisis enfatizó en los compuestos fenólicos encontrados en ambas gomas. Por lo que una alta absorción en los picos de $3210 \sim 3320 \text{ cm}^{-1}$ se debe a residuos de metanol. A parte de esto, hay que resaltar el elevado grado de semejanza entre los espectros de goma arábica y goma de algarrobo, por lo que comparten una idéntica estructura química y de composición. De igual manera, al comparar espectros de goma de algarrobo con trabajos relacionados, se puede encontrar una alta similitud tanto para goma arábica como para goma de algarrobo (López et al., 2012; Vasile et al., 2016; Bashir y Haripriya, 2016; Udo, Odoemelam y Okon, 2017). La Figura 5.5 ilustra los espectros infrarrojos de una muestra de goma arábica (GA) y cinco muestras de gomas de algarrobo o *mezquite* gum, traducido al inglés, clasificadas por calidad y coloración de la goma. MGA corresponde a gomas de algarrobo de buena calidad de tamaños entre los 2 cm, con coloraciones claras, sin impurezas y sin pre-tratamiento; MGA_F y MGA_U corresponden a gomas pre-tratadas por filtración y ultrafiltración, respectivamente. MGB consiste de gomas de algarrobo de color ámbar, poca presencia de impurezas, tamaños entre el 1 cm y sin pre-tratamiento. Finalmente, MGC está conformada por gomas de coloraciones rojizas a ámbar, presencia de impurezas, tamaños variados o fragmentos y sin ningún pre-tratamiento. Además, se muestra la identificación por número de onda de picos representativos (López et al., 2012).

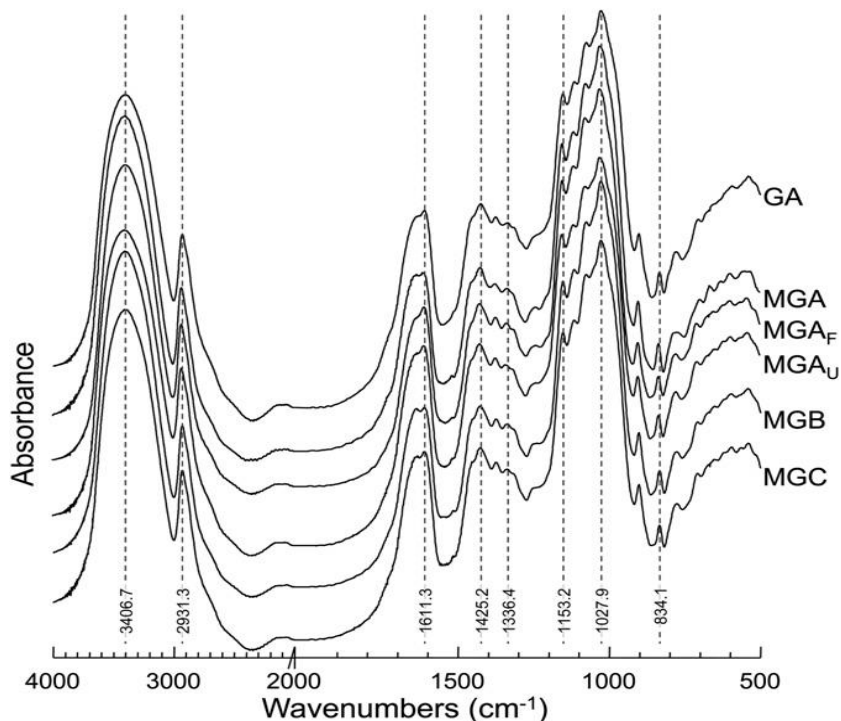


Figura 5.5. Espectro IR de goma de algarrobo y goma arábica (López et al., 2012)

Entre los picos sobresalientes, relacionados en bibliografía, están los grupos fenólicos a $3210 \sim 3320 \text{ cm}^{-1}$. Otro pico característico es el grupo de los alcanos, en este caso polímeros de carbohidratos, con frecuencias de $2939 \sim 2946 \text{ cm}^{-1}$ encontrado en todas las gomas de algarrobo menos en la muestra de goma arábica. Esto se podría deber a una insuficiente lectura del espectro por el ATR y una superposición de picos por parte del grupo fenólico. En los picos $1629 \text{ a } 1663 \text{ cm}^{-1}$ tenemos otra similitud en bibliografía la cual demuestra la presencia de flavonoides y grupos carbonilo. Los picos entre los 1300 y los 1400 cm^{-1} también son equiparables, representando a los enlaces C-C para aromáticos y alcanos. Bashir y Haripriya, (2016) señalan que los picos a 1400 cm^{-1} son debido a ácidos urónicos y residuos de ácidos carboxílicos. Los picos a 1014 cm^{-1} también presentes en bibliografía, indican estiramientos en enlaces C-O. Bashir y Haripriya, (2016) también expresan que los picos correspondientes a 1014 cm^{-1} podrían ser descritos como moléculas de arabinogalactanas.

La comparación de espectros entre las tres muestras de goma de algarrobo contra la muestra de goma arábica, obtuvo un porcentaje de correlación de 80,37 % para la goma de la zona 1, 79,83 % para la goma zona 2 y 79,66 % para la goma zona 3. La baja de resolución de los picos y la falta del pico entre $2939 \sim 2946 \text{ cm}^{-1}$ en la goma arábica generaron una disminución en el porcentaje de correlación. De igual forma, los espectros entre la goma de algarrobo joven, zona 3, y la goma de algarrobo madura, zonas 1 y 2, fue similar, por lo que se puede decir que su estructura química es semejante. De este modo, la composición orgánica no varía con el tiempo de vida del árbol, si no que varía la cantidad de agua y minerales con la cual es exudada, los cuales son aprovechados para el crecimiento del árbol.

5.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FENOLES TOTALES POR UV-VIS

El contenido fenólico total o TPC (Total Phenolic Content en inglés) presentes en las gomas fueron cuantificados mediante el método Folin-Ciocalteu y mediante la técnica instrumental UV-Vis. Es un método colorimétrico que permite medir la absorción de radiación de los fenoles debido a la coloración azulada que se produce. La intensidad a la cual se forma la coloración, establece la cantidad de fenoles que la muestra posee. Con base en esto, dichos compuestos pueden ser cuantificados con ayuda de una curva de calibración. Para la curva de calibración se utilizó un estándar de ácido gálico, por lo que la determinación será expresada en mg de ácido gálico o GAE/100 mg de muestra. En la Tabla 5.5 se observan los valores de la curva de calibración y la medición de absorbancia a 765 nm obtenida en el equipo UV-Vis. A partir de estos datos se logró construir la curva ilustrada en la Figura 5.6, en donde los datos se ajustaron a una recta mediante un ajuste por mínimos cuadrados y de esta forma se obtuvo la ecuación de recta y el coeficiente de correlación. Los 6 puntos o niveles de calibración utilizados en este análisis fueron necesarios para cuantificar y comparar el contenido fenólico presente en muestras de goma de algarrobo y goma arábica.

Tabla 5.5. Niveles de la curva de calibración de ácido gálico con sus respectivas absorbancias

| Concentración mg/L | Absorbancia (U.A) |
|--------------------|-------------------|
| 0,0 | -0,0081 |
| 1,0 | 0,2524 |
| 2,0 | 0,4853 |
| 3,0 | 0,6510 |
| 4,0 | 0,7820 |
| 5,0 | 0,9326 |

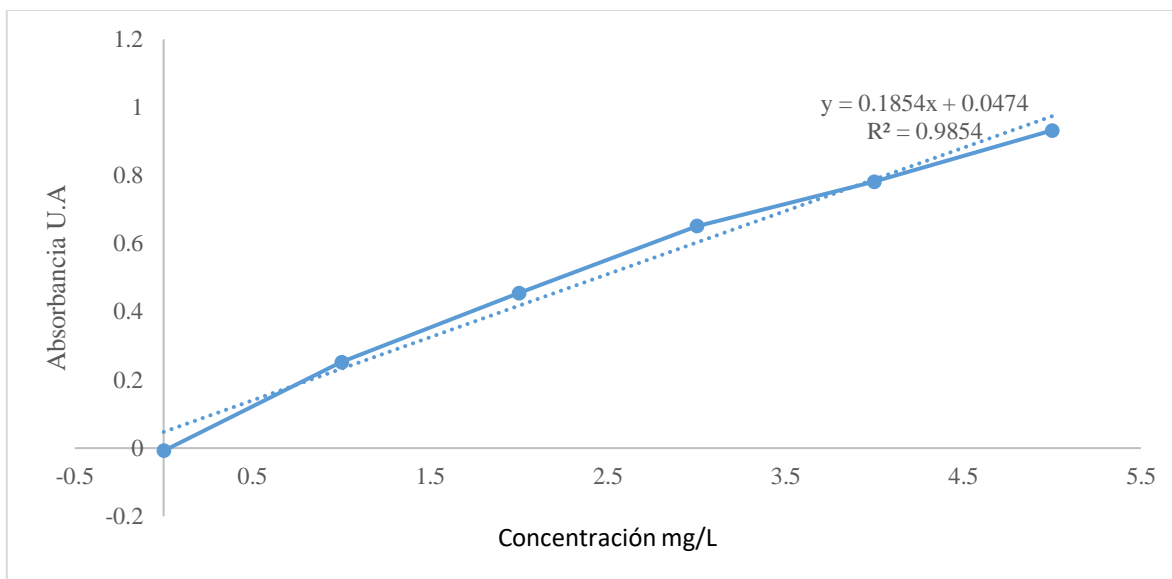


Figura 5.6. Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de fenoles totales

Para la curva de calibración se emplearon soluciones elaboradas a partir de una solución estándar de 0,1 g/L de ácido gálico; los estándares de calibración deben ser de composición similar a las muestras de estudio. Como resultado, se obtuvieron los elementos de la curva de calibración, los cuales vinculan el valor de absorbancia resultante de la lectura en el equipo, y posteriormente cuantifica la concentración en mg/L de ácido gálico. En la

Tabla 5.6 se detallan los valores de la ecuación de la recta, los cuales constituyen la linealidad del método. La linealidad está representada por la relación proporcional entre la concentración versus la señal, en donde **Y** corresponde a la señal medida por el equipo o absorbancia, **X** es la concentración del analito, **a** es la pendiente de la recta y **b** la ordenada al origen.

Tabla 5.6. Elementos de la curva de calibración de ácido gálico empleada para la cuantificación del contenido fenólico total

| | |
|---|------------------------|
| Relación concentración vs señal | $y = ax + b$ |
| Ecuación de la Recta | $y = 0,1854x + 0,0474$ |
| Pendiente (a) | 0,1854 |
| Ordenada(b) | 0,0474 |
| Coefficiente de correlación (r^2) | 0,9854 |

Se logró un coeficiente de correlación de 0,9854; se considera como criterio de aceptación de linealidad a valores de coeficiente de correlación mayores a 0,98 (Dosal y Villanueva, 2008), por lo tanto dicho valor es aceptado para la obtención de medidas confiables. Por otra parte, el uso de un blanco, disolución que contiene todos los reactivos del análisis menos la muestra, ayudó a identificar posibles contaminaciones o interferencias existentes en los reactivos, materiales o en los equipos empleados durante todo el proceso. Cabe resaltar que una vez terminado el tiempo de 2 horas, desde la adición del reactivo Folin-Ciocalteu, se tomó instantáneamente la medición de absorbancia ya que posterior a este tiempo la coloración del reactivo empieza a decaer, modificando la absorbancia final.

A continuación se procedió con la cuantificación por triplicado a una longitud de onda de 765 nm para cada una de las muestras de goma. Una vez obtenida la absorbancia de las muestras, dicho valor se sustituyó de **Y** en la ecuación de la recta y se despejó **X**. Posteriormente se multiplicó por el factor de dilución al volumen el cual se diluyó la muestra logrando la cuantificación en mg/L. Finalmente, con los pesos de goma colocados durante la fase de extracción se transformó a mg GAE/100 g de muestra. En la Tabla 5.7 se muestran

los resultados obtenidos en la determinación del contenido fenólico total. El Anexo 10 muestra los cálculos respectivos, además de las repeticiones de cada muestra de goma con su respectiva absorbancia, la concentración obtenida por medio de la curva de calibración y la concentración expresada en miligramos de ácido gálico.

Tabla 5.7. Concentración de fenoles totales para las muestras de goma de algarrobo en las tres zonas de estudio y goma arábica grado UPS

| | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| Concentración en mg GAE/100 g | 40,08 ± 1,32 | 37,12 ± 0,81 | 18,49 ± 1,31 | 10,57 ± 0,23 |

Los resultados obtenidos demuestran claramente un mayor contenido de fenoles totales en las muestras de goma de algarrobo versus la goma arábica. Dentro de los fenoles totales se encuentran esencialmente los taninos, flavonoides, fenoles simples y complejos (Peñarrieta, Tejeda, Mollinedo, Vila, y Bravo. 2014). La intensidad de la coloración está relacionada con la presencia de taninos condensados en las gomas, los cuales provienen de las proantocianidinas (Sibaja, 2015). Las proantocianidinas son compuestos fenólicos o polímeros de flavonoides encontrados en gran variedad de plantas y frutas como las uvas, arándanos, corteza del pino, entre otras. Son las responsables de otorgar propiedades antioxidantes y consecuentemente una coloración café-rojiza (IBQ, 2014).

Las investigaciones descritas para fenoles totales difieren en relación al solvente usado en el proceso de extracción. Mohammedlnour et al., (2017) hallaron la relación 50 % agua metanol como el mejor solvente para la extracción de TPC, para gomas de *Acacia*. Por lo que, este análisis confirmó que la extracción fenólica, en solución acuosa de metanol 50 %, puede también ser aplicada en goma de algarrobo, logrando resultados satisfactorios. La Tabla 5.7 refleja un contenido de fenoles, en goma de algarrobo de 40,08 mg GAE/100 g para zona 1, un valor de 37,12 mg GAE/100 g para la zona 2 y 18,49 mg GAE/100 g para la zona 3. Las mediciones de las zonas 1 y 2 fueron las de mayor contenido fenólico, mientras

que la zona 3 fue la menor. Finalmente se cuantificó a la goma arábica, con un valor de 10,57 mg GAE/100 g.

Botero et al., (2017), indicaron un porcentaje del 36,53 % o 36,53 g GAE/100 g de fenoles totales en goma de algarrobo, *Prosopis juliflora*. Un valor muy elevado en comparación al resultado encontrado en el actual estudio y siendo la misma especie de árbol. En otro estudio Vasile, Romero, Judis, Mattalloni, Virgolini y Mazzobre, (2019) indicaron un valor de 9,55 mg GAE /100 g de fenoles totales para una muestra de goma de *Prosopis alba*; una medición relativamente baja en comparación con las muestras de goma de algarrobo de las zonas 1, 2 y 3. La diferencia del contenido total de fenoles se puede deber al entorno en el cual se desarrollan los árboles. Dichos factores inducen a la formación de mayor o menor cantidad de compuestos antioxidantes endógenos en la planta.

Los resultados obtenidos de fenoles totales en el presente trabajo, para la muestra de goma arábica, fueron relativamente bajos. Hamdani et al. (2018) midieron una cantidad de 0,87 mg GAE/100 g; mientras que, Kassem y Abdullah, (2015) obtuvieron un valor de 0,84 mg GAE/100 g. Ambos estudios se efectuaron en muestras de goma arábica grado analítico. Por otro lado Mohammedelnour et al., (2017) determinó la cantidad de 60,78 mg GAE/100 g mediante una extracción metanólica al 50 % y 1,76 mg GAE/100 g determinado por Vasile et al. (2019) en muestras de goma de *Acacia*. Cabe resaltar que los dos últimos autores determinaron fenoles totales de goma arábica en forma cruda sin ningún tipo de procesamiento. La goma arábica utilizada en este trabajo fue de grado alimenticio UPS, dando un comportamiento similar en cuanto a un bajo contenido de fenoles totales, pero no de forma tan rigurosa como es el caso de goma arábica grado analítico. Es notable la diferencia del tipo de procesamiento dado para cada tipo de goma arábica.

Por lo tanto, el presente estudio estableció una mayor existencia de contenido fenólico en las tres muestras de goma de algarrobo en comparación a la muestra de goma arábica. Los promedios demuestran una relación aproximada de cuatro veces el contenido de fenoles totales en goma de algarrobo versus la goma arábica. Los bajos valores de desviación estándar encontrados, indican precisión en el método ejecutado. Cabe resaltar que, en

procesos donde el tratamiento de muestra implica la generación de color por la adición de un reactivo, se debe efectuar la lectura de la muestra inmediatamente, esto debido a la rápida degradación, lo que conlleva a una distorsión de datos.

Por otra parte, la variabilidad de datos está influenciada de cierta forma por las condiciones climáticas de cada región, el tipo de nutrientes disponibles en el suelo, al igual que la edad de los árboles, lo cual fue corroborado en este estudio. El contenido total de fenoles también varía en función del pre-tratamiento que se le da a las gomas. La goma de algarrobo requiere de un procesamiento previo para la reducción de fenoles totales, tal como lo sugieren los autores López et al. (2012) y Vasile et al. (2019). En el caso de las gomas de *Acacia*, el pre-tratamiento y purificación aplicada antes de su comercialización, pretende disminuir estos compuestos, en especial el contenido de taninos. Existen varios métodos de purificación: secado por pulverización (spray drying), secado por rodillo (roller drying) o pulverización. El valor comercial de la goma procesada puede duplicar o triplicar su costo inicial, dependiendo del cual sea su mercado final (Tristão y Gonzalo, 2012).

5.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

5.5.1. PRUEBA t Y ANOVA

Para la prueba t se planteó la siguiente la hipótesis nula (H_0) “La media de la muestra de goma de algarrobo es diferente de la media de la muestra de goma arábica” e hipótesis alternativa “La media de la muestra de goma de algarrobo es igual a la media de la muestra de goma arábica”. El análisis se efectuó para todos los parámetros estudiados. Cada grupo de datos obtenidos de las tres muestras de goma de algarrobo fueron comparados con la goma arábica, tomada como referencia. El nivel de confianza correspondió al 95 %, mientras que el valor t tabulado a 0,25. Por lo tanto, valores de t calculada menores a 0,25 se encuentran fuera del intervalo de confianza, como resultado se acepta la hipótesis nula y se considera que ambas gomas fueron completamente diferentes. Mientras que si los valores de t calculada

son mayores a 0,25 se encuentran dentro del intervalo de confianza, se rechaza la hipótesis nula y se considera que ambas gomas fueron iguales, y se acepta la hipótesis alternativa.

La prueba estadística ANOVA es una generalización del estadístico de la prueba t. Por lo tanto, se planteó la hipótesis nula (H_0) “Los datos de goma de algarrobo son iguales a los datos de goma arábica” y la hipótesis alternativa (H_A) “Al menos uno de los datos es diferente a la goma arábica”. El análisis de varianza de dos factores permitió evaluar la probabilidad del factor A, concentración o porcentaje, probabilidad del factor B, gomas de algarrobo de zonas 1, 2 y 3 y goma arábica, y la probabilidad de interacción entre los dos factores. Se utilizó un nivel de significación del 0,05. Por lo tanto, si el valor de la probabilidad resultante es mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula. Caso contrario, si la probabilidad resultante es menor al nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. En la Tabla 5.8 se muestran los análisis estadísticos aplicados al parámetro de pH.

Tabla 5.8. Valor de t calculado y ANOVA para los datos generados en el análisis de pH

| Prueba t | | | |
|----------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|
| Concentración | Muestra | Valor para T | Criterio H_0 |
| 10 % | Zona 1 | 0,5194 | Rechazada |
| | Zona 2 | 0,7418 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,1732 | Aceptada |
| 30 % | Zona 1 | 0,5598 | Rechazada |
| | Zona 2 | 0,1296 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,3688 | Rechazada |
| 50 % | Zona 1 | 0,0533 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,3377 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,3675 | Rechazada |
| 80 % | Zona 1 | 0,0267 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,5471 | Rechazada |

| | Zona 3 | 0,1625 | Aceptada |
|-------------|------------|-------------------------|----------|
| ANOVA | | | |
| Variabes | P | Criterio H ₀ | |
| Factor A | 6,1314E-06 | Rechazada | |
| Factor B | 0,0065 | Rechazada | |
| Interacción | 0,0037 | Rechazada | |

El análisis estadístico de los valores de pH, encontrados en soluciones acuosas de goma de algarrobo y goma arábica, rechazaron en cierta medida la hipótesis nula indicando la similitud en el pH entre los dos tipos de gomas. Los datos con mayor semejanza fueron de concentraciones bajas, menor al 50 %, mientras que la goma de algarrobo de la zona 2, presentó mayor similitud a la goma arábica, ya que según el análisis estadístico se rechazó la hipótesis en múltiples ocasiones. Para el análisis ANOVA, se encontró que las gomas de algarrobo y arábica fueron estadísticamente distintas en concentración, factor A y entre las tres zonas de muestreo de goma de algarrobo y goma arábica, factor B. La interacción rechaza H₀, en donde al menos un dato de pH de goma de algarrobo fue diferente a la goma arábica.

En la Tabla 5.9 se encuentran los resultados de aceptación o rechazo de la hipótesis nula establecida, tanto para prueba t como para ANOVA, en el análisis de conductividad.

Tabla 5.9. Valor t calculado en el análisis de conductividad

| Concentración | Muestra | Valor para T | Criterio H ₀ |
|---------------|---------|--------------|-------------------------|
| 10 % | Zona 1 | 0,0013 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0006 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0000 | Aceptada |
| 30 % | Zona 1 | 0,0001 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0003 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0001 | Aceptada |
| 50 % | Zona 1 | 0,0369 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0029 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0011 | Aceptada |

| | | | |
|--------------------|------------|--------|-------------------------------|
| 80 % | Zona 1 | 0,0114 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,1070 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0043 | Aceptada |
| ANOVA | | | |
| Variabes | P | | Criterio H₀ |
| Factor A | 2,2093E-58 | | Rechazada |
| Factor B | 4,6081E-39 | | Rechazada |
| Interacción | 1,8394E-21 | | Rechazada |

Los datos mostrados en la Tabla 5.9 para el valor de t calculado son bajos. El valor t calculado se encuentra fuera del intervalo de confianza y por lo tanto se acepta H₀. Se establece que la conductividad, a todas las concentraciones, fue distinta entre los dos tipos gomas. El análisis de varianza también indica diferencia estadística entre los datos, tanto el factor A, factor B y la interacción rechazan H₀ y aceptan hipótesis alternativa H_A, en donde al menos un dato fue distinto.

A continuación, se presenta la Tabla 5.10 con los valores t calculado, ANOVA y aceptación o rechazo de H₀ en mediciones de densidad, a las cuatro concentraciones de estudio.

Tabla 5.10. Prueba t y ANOVA para la determinación de densidad

| Concentración | Muestra | Valor para T | Criterio H₀ |
|----------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| 10 % | Zona 1 | 0,7418 | Rechazada |
| | Zona 2 | 0,6035 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,5427 | Rechazada |
| 30 % | Zona 1 | 0,2020 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,1835 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,1917 | Aceptada |
| 50 % | Zona 1 | 0,4226 | Rechazada |
| | Zona 2 | 0,5799 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,0008 | Aceptada |

| | | | |
|--------------------|------------|--------|-------------------------------|
| 80 % | Zona 1 | 0,0037 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,7248 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,0094 | Aceptada |
| ANOVA | | | |
| Variab | P | | Criterio H₀ |
| Factor A | 4,5801E-43 | | Rechazada |
| Factor B | 1,7124E-21 | | Rechazada |
| Interacción | 2,6986E-21 | | Rechazada |

Los valores de densidad promedio de goma de algarrobo fueron cercanos a los valores de goma arábica. A pesar de esto, el valor t rechazó la hipótesis nula en ciertas mediciones, indicando la semejanza entre las gomas. Las soluciones acuosas al 10 % presentaron el mayor grado de similitud, seguido por las soluciones al 50 %. En cambio, las concentraciones al 30 y 80 % fueron las de menor semejanza. Por otro lado, el valor t calculado para las gomas de algarrobo de las zonas 1 y 2 rechazaron un mayor número de veces la hipótesis nula establecida; por ende dichas muestras tuvieron mayor similitud con los valores de densidad descrita para la goma arábica. El análisis de varianza demostró diferencia estadística. Las tres variables rechazan H₀. Al tener al menos un dato distinto, el programa estadístico indica que el grupo de datos de la goma de algarrobo fue diferente al grupo de datos de la goma arábica.

En la Tabla 5.11 se observa la comparación de resultados estadísticos entre los dos tipos de gomas, en la determinación de viscosidad relativa a concentraciones de 10, 30, 50 y 80 %.

Tabla 5.11. Prueba t y ANOVA para la determinación de viscosidad relativa

| Concentración | Muestra | Valor para T | Criterio H₀ |
|----------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| 10 % | Zona 1 | 0,002 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,001 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,000 | Aceptada |
| 30 % | Zona 1 | 0,003 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,001 | Aceptada |

| | | | |
|--------------------|-----------|-------|-------------------------------|
| | Zona 3 | 0,000 | Aceptada |
| 50 % | Zona 1 | 0,000 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,000 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,000 | Aceptada |
| 80 % | Zona 1 | 0,001 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,001 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,000 | Aceptada |
| ANOVA | | | |
| Variables | P | | Criterio H₀ |
| Factor A | 1,556E-58 | | Rechazada |
| Factor B | 1,998E-35 | | Rechazada |
| Interacción | 5,079E-37 | | Rechazada |

La viscosidad relativa no obtuvo valores equiparables entre la goma de algarrobo y la goma arábica. El valor t calculado registró cifras sumamente bajas para la mayoría de casos, por lo que la H₀ fue aceptada. Por otra parte, la media de los datos indicó una mayor viscosidad relativa para la goma arábica, a todas las concentraciones aplicadas al estudio. En cambio, se aprecia que las viscosidades promedio entre las tres muestras de goma de algarrobo fueron cercanas, siendo en mayor medida las gomas de las zonas 1 y 2. De la misma manera el análisis ANOVA rechazó la H₀. Las probabilidades para las tres variables fueron extremadamente bajas en comparación al nivel de significación propuesto. Por lo tanto se estableció diferencia estadística para el parámetro de viscosidad relativa.

Por medio de la Tabla 5.12, se demuestran los parámetros estadísticos aplicados a la determinación porcentual de humedad, cenizas, proteína y contenido fenólico total en goma arábica y goma de algarrobo.

Tabla 5.12. Prueba t y ANOVA para la determinación de porcentaje de humedad, cenizas, proteína y contenido fenólico total

| Parámetro | Muestra | Valor para T | Criterio H₀ |
|--------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| % Humedad | Zona 1 | 0,0571 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0581 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0940 | Aceptada |
| % Cenizas | Zona 1 | 0,0168 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,4404 | Rechazada |
| | Zona 3 | 0,0097 | Aceptada |
| % Proteína | Zona 1 | 0,0005 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0001 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0007 | Aceptada |
| TPC | Zona 1 | 0,0006 | Aceptada |
| | Zona 2 | 0,0006 | Aceptada |
| | Zona 3 | 0,0109 | Aceptada |
| ANOVA | | | |
| Variabes | P | | Criterio H₀ |
| Factor A | 7,0636E-42 | | Rechazada |
| Factor B | 5,1745E-26 | | Rechazada |
| Interacción | 2,0116E-31 | | Rechazada |

Se observa que, el criterio de la hipótesis nula fue aceptado en los cuatro parámetros de estudio. Las medias confirman este hecho, en donde la goma de algarrobo tuvo un mayor porcentaje de proteína, mientras que la goma arábica un mayor porcentaje de humedad y cenizas. De igual forma, el contenido fenólico total fue distinto entre la goma de algarrobo y la goma arábica, grado UPS. La prueba estadística ANOVA mostró resultados iguales a la prueba t. Se rechazó H₀ indicando diferencias entre la goma de algarrobo y arábica.

Por lo tanto, se puede establecer que las gomas de las zonas 1 y 2, áreas con mayor rango de temperatura y bajos niveles de lluvia, fueron las más semejantes a la goma arábica,

tal como demuestra la prueba t para ciertas mediciones. Mientras que, el análisis ANOVA indicó diferencia estadística en todos los parámetros de estudio. Parámetros como pH, densidad, y humedad mostraron semejanza entre los dos tipos de gomas. Muchas de estas mediciones cuentan con rangos, por lo que valores fijos no son aplicables. En este sentido, las muestras de goma de algarrobo de las zonas 1 y 2, mostraron valores dentro de dichos rangos. En el caso de la muestra de goma de algarrobo de la zona 3, al ser de árboles jóvenes, se observaron mayores diferencias al compararla con la goma arábica. En cierta forma, valores más altos de estos parámetros otorgan otros beneficios, así como una mayor cantidad de minerales aportados y mejores propiedades reológicas y emulsificantes en comparación a la goma arábica.

6. CONCLUSIONES

- Fue factible la determinación de las características fisicoquímicas y el contenido total de fenoles del exudado proveniente del algarrobo *Prosopis fuliflora*.
- Los valores de pH de la goma de algarrobo se ubicaron dentro del rango establecido para los parámetros de calidad para la goma arábica, que son de 4,0 a 5,0. Se obtuvieron valores de pH entre 4,93 a 5,02 para la zona 1, de 4,89 a 5,04 para la zona 2, y de 4,99 a 5,00 para la zona 3. Para la goma arábica grado UPS su pH fue de 4,90 a 5,05.
- La conductividad entre goma de algarrobo y arábica, para todas las concentraciones, fue totalmente distinta. Las soluciones acuosas de goma, a concentraciones de 30 y 50 %, presentaron los valores más altos de conductividad. Los resultados fueron de 260,7 a 481,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la zona 1, de 268,1 a 469,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la zona 2, de 233,4 a 425,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la zona 3 y de 295,5 a 505,8 para la goma arábica.
- La viscosidad relativa de la goma de algarrobo fue menor a la goma arábica, siendo las soluciones acuosas de concentraciones de 50 y 80 % las de mayor viscosidad. La goma de arábica duplicó los valores en relación a la goma de algarrobo. Los valores máximos fueron de 793,23 cP para la zona 1, 766,06 cP para la zona 2, 685,54 cP para la zona 3 y 1261,11 cP para la goma arábica. Mientras que las mediciones de densidad de los dos tipos de gomas fueron similares, en todas las concentraciones de estudio, con valores entre 1,031 a 1,191 g/mL.
- En la determinación porcentual de proteína, se encontró que las tres muestras de goma de algarrobo fueron mayores, de 2,60 a 3,04 %, frente a la goma arábica con un 1,83 %. El porcentaje de cenizas en la goma de algarrobo fue menor, debido a su bajo contenido mineral, con valores de 2,96 y 4,02 %, frente a la goma arábica de 4,15 %.
- Los porcentajes de humedad de la goma de algarrobo, de las tres muestras de estudio, fueron ligeramente menores al valor de goma arábica UPS, tomado como referencia, 9,95 % para la zona 1, 9,85 % para la zona 2, 10,45 % para la zona 3 y 12,27 % para la goma arábica.
- En la comparación de espectros FTIR, entre las tres muestras de gomas de algarrobo y goma arábica grado UPS, se logró un porcentaje de correlación de 80,37 % para la goma de la zona 1, 79,83 % para la goma zona 2 y 79,66 % para la goma zona 3. Por

lo tanto, sus estructuras químicas y su composición fueron semejantes. De igual forma los espectros y los picos obtenidos experimentalmente fueron comparables con espectros encontrados en bibliografía para goma de algarrobo.

- Fue posible determinar, mediante la técnica UV-Vis, el contenido de fenoles totales, en donde las muestras de goma de algarrobo sobrepasaron los valores obtenidos para goma arábica. La mayor concentración, con una media de 40,08 mg GAE /100 g fue para la muestra de goma de algarrobo de la zona 1. Un valor de 37,12 mg GAE /100 g para la zona 2. La zona 3 con una concentración de 18,49 mg GAE /100 g y finalmente, la goma arábica con un valor de 10,57 mg GAE/100 g.
- La prueba estadística t de student mostró que, en general, las gomas de algarrobo de las zonas 1 y 2 fueron más semejantes a la goma arábica que la de la zona 3. Mientras que, la prueba ANOVA demostró diferencia estadística favorable en los datos de goma de algarrobo en comparación a la goma arábica, para todos los parámetros de estudio. Por lo tanto la goma de algarrobo ecuatoriana se presenta como una alternativa al uso de la goma arábica.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar procesos de filtración o ultrafiltración para reducir los niveles del contenido fenólico total en gomas de algarrobo.
- Implementar un análisis proximal completo con enfoque hacia la industria alimenticia, su introducción hacia el mercado nacional y sus aplicaciones en dicho campo.
- Aplicar técnicas de cromatografía líquida o cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC para la determinación del contenido fenólico total y la identificación de compuestos fenólicos.
- Utilizar goma de algarrobo procedente de árboles de mayor edad.
- Realizar estudios sobre la eficacia de la goma de algarrobo en productos alimenticios, cosméticos, farmacéuticos, en comparación con la goma arábica.
- Implementar un método sistemático de recolección de goma de algarrobo similar al que se realiza en goma arábica.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdalbasit, A. (2018). Chemical Properties of Gum Arabic. En A. Abdalbasit (Ed.). *Gum Arabic: Structure, Properties, Application and Economics* (pp. 67-72). London: Academic Press. Elsevier.
- Aditivos Alimentarios S.A. (EPSA). (2013). Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. EPSA. Recuperado de: http://www.aditivosalimentarios.es/php_back/noticias/archivos/EPSAempresasTF90.pdf
- Aguirre, Z., Kvist, L., Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. En M. Morales, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius y H. Balslev (Eds.). *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 162-187). La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Amoussa, A., Sanni, A. y Lagnika, L. (2015). Antioxidant activity and total phenolic, flavonoid and flavonol contents of the bark extracts of *Acacia ataxacantha*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 4(2), 172-178.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18ª Edición, USA.
- Armijos, S. (2016). Bebidas. El sector se inclina a lo natural. *Vistazo, Proyectos Especiales Industrias*. Recuperado de: <http://anfab.com/wp/wp-content/uploads/2016/08/SUPLEMENTO-REVISTA-VISTAZO-agosto-2016-386.pdf>
- Ayaz, N., Ramadan, K., Farid, H. y Alnahdi, H. (2017). Protective role and antioxidant activity of arabic gum against trichloroacetate-induced toxicity in liver of male rats. *Indian Journal Of Animal Research*. 51(2), 303-309.
- Azcón, J. y Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Segunda Edición. Madrid: McGraw Hil.
- Babiker, R., Merghani, T., Elmusharaf, K., Badi, R., Lang, F. y Saeed, A. (2012). Effects of gum Arabic ingestion on body mass index and body fat percentage in healthy adult females: two-arm randomized, placebo controlled, double-blind trial. *Nutrition Journal*. 11(111), 1-7.

- Bashir, M. y Haripriya, S. (2016). Assessment of physical and structural characteristics of almond gum. *International Journal of Biological Macromolecules*. 93, 476-482.
- Basu, S., Prasad, M., Suthari, S. y Kiran, B. (2017). Prosopis juliflora (mesquite) gum exudate as a potential excipient. *The EuroBiotech Journal*. 1(1), 76-81.
- Bazurto, C. (2013). Borrador del Estudio de Impacto Ambiental Expost del proyecto: Viales Expost, ubicado en la zona 14 (2011-2012) en la que se encuentran los cantones: Jipijapa y Puerto López de la Provincia de Manabí. *Gobierno Provincial de Manabí*. Recuperado de: <http://www.manabi.gob.ec/images2010/2013/05/BORRADOR-ZONA-14.pdf>
- Blay, J. & Lambert, J. (2017). Plant Exudates and Amber: Their Origin and Uses. *The Magazine of the Arnold Arboretum*. 75 (1), 2-13.
- Botero, C., Beltran, O., Rincon, F. y Reyes, L. (2017). Caracterización Físicoquímica de la goma de *Prosopis juliflora* (Cují). *Universidad del Zulia*. 7(1), 100-105.
- Burghardt, A., Brizuela, M., Pía, M., Albán, L. y Palacios, R. (2010). Análisis numérico de las especies de *Prosopis* L. (Fabaceae) de las costas de Perú y Ecuador. *Revista Peruana de Biología*. 17(3), 317-323.
- Centro de Comercio Internacional (ITC). (2018). Lista de los productos importados por Ecuador. Recuperado de: [https://www.trademap.org/\(X\(1\)S\(ouau0q4554di2bmofhdaj1ey\)\)/Product_SelCountry_TS.aspx?nvpm=3%7c218%7c%7c%7c13%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1](https://www.trademap.org/(X(1)S(ouau0q4554di2bmofhdaj1ey))/Product_SelCountry_TS.aspx?nvpm=3%7c218%7c%7c%7c13%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1)
- Coppen, J. (1995). *Gums, resins and latexes of plant origin. Non-wood Forest Products*. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Diéguez, J. (1998). Extractos y Exudados en el acabado de la madera. *Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera (AIIM)*. 195, 53-56.
- Dosal, M. y Villanueva, M. (2008). Introducción a la Metrología Química, Curvas de Calibración en los Métodos Analíticos. Academia. Recuperado de: https://www.academia.edu/11334936/INTRODUCCI%C3%94N_A_LA_METROLOG%C3%8EA_QU%C3%8EMICA
- Elshama, S. (2018). The preventive role of Arabic gum in the treatment of Toxicity. *Open Access: Toxicology & Research*. 1(1), 27-29.

- Fidèle, T., Souleyman, A., Nguessolta, E. y Goudiaby, V. (2015). Tapping method and management of *Acacia senegal* (L.) Willd in a Sahelian savannah of Chad. *International Journal of Science and Advanced Technology*. 5(5), 7-13.
- Grados, N., Ruiz, W., Cruz, G., Díaz, C. y Puicón, J. (2000). Productos Industrializables de la Algarroba Peruana (*Prosopis Pallida*): Algarrobina y Harina de Algarroba. *Multequina*. 9(2), 119-132.
- Hajer, A., Mohamed, A., Abubaker, A., & Nisreen, A. (2013). Electrical and optical properties of two types of Gum Arabic. *Sudan Medical Monitor*. 8(4), 174-178.
- Hamdani, A., Wani, I., Bhat, N. y Masoodi, F. (2018) Chemical composition, total phenolic content, antioxidant and antinutritional characterisation of exudate gums. *Food Bioscience*. 23, 67-74.
- Hammad, Z. y Mohammed, H. (2018). Management Practices of Gum Arabic–Producing Trees. En A. Abdalbasit (Ed.). *Gum Arabic: Structure, Properties, Application and Economics* (pp. 13-18). London: Academic Press. Elsevier.
- Hassan, M. (2008). Comparison of the Physiochemical Properties of Gum Arabic (*Acacia Senegal L.*) Produced in Sandy and Gardude soils in Sudan. (Tesis de Maestría). University of Gezira. Egipto.
- Instituto Químico Biológico. (2014). Proantocianidinas. IBQ España. Recuperado de: <http://www.iqb.es/monografia/fichas/proantocianina.htm>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Ecuador. (2018). Anuarios Meteorológicos. Inamhi. Recuperado de: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/
- Jain, R. (2014). Physical Chemistry. Electrochemistry I. University of Babylon. Recuperado de: http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_11_16446_250.pdf
- Kassem, A. y Abdullah, A. (2015). Dietary Gum Arabic Supplementation Alter Plasma and Tissue Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities in Sprague Dawlet Males Rats. *Journal of Biology and Life Science*. 6(1), 129-138.
- Kauther, A. y Hussien, D. (2018). Physicochemical and Funcional Properties of the Gum Arabic from *Acacia Senegal*. *Annals. Food Science and Technology*. 19(1), 27-34.

- Kuruwanshi, V., Katiyar, P. y Khan, S. (2018). Gum tapping technique and anatomical study of ethylene induced gum duct formation in Dhawda (*Anogeissus latifolia*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 1, 124-128.
- López, Y., Goycoolea, F., Valdez, M. y Calderón de la Barca, A. (2006). Goma de Mezquite: Una alternativa de uso industrial. *Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas. Interciencia*. 31(3), 183-189.
- López, Y. (2009). Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Recuperado de: https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/foros/Mezquite/USO_DEL_MEZQUITE_COMO_FUENTE_DE_POLISACARIDOS_DE_ALTO_VALOR_AGREGADO.PDF
- López, Y., Córdova, R., Goycoolea, F., Valdez, M., Onofre, J. y Mendoza, J. (2012). Classification and physicochemical characterization of mesquite gum (*Prosopis* spp.). *Food Hydrocolloids*. 26, 159-166.
- Mirghani, M., Elnour, A., Kabbashi, N., Alam, Z., Musa, K. y Abdullah, A. (2018). Determination of antioxidant activity of gum arabic: An exudation from two different locations. *ScienceAsia*. 44, 179-186.
- Mohammedelnour, A., Mirghani, M., Kabbashi, N., Alam, Z., Musa, H. y Abdullah, A. (2017). Effect of solvent types on phenolics content and antioxidant activities of *Acacia polyacantha* gum. *International Food Research Journal*. 24, 369-377.
- Morocho, S. (2017). Estudio químico y computacional del acetaminofén. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
- Ozcan, T., Akpınar, A., Ersan, L. & Delikanlı, B. (2014). Phenolics in Human Health. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 5(5), 393-396.
- Peñarrieta, M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J., y Bravo, J. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*. 31(2), 68-81.
- Polo, I. (2012). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de seis variedades de leguminosas: arveja, garbanzo, haba, lenteja, maní y soya. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
- Ram, M., Tewari, J. y Harsh, L. (2012). *An Improved Gum Tapping From Acacia Senegal*. LAP Lambert Academic Publishing. Alemania.

- Reséndiz, N., García, R., Hernández, M., Uribe, M. y Leos, J. (2016). Goma de mezquite y huizache como alternativa de aprovechamiento en sistemas agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16, 3251-3261.
- Salih, N. (2018). Applications of Gum Arabic in Medical and Health Benefits. En A. Abdalbasit (Ed.). *Gum Arabic: Structure, Properties, Application and Economics* (pp. 269-281). London: Academic Press. Elsevier.
- Sánchez, R. (2015). t-Student. Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*. 26(1), 59-61.
- Scicolone, G. (2002). *Restauración de la pintura contemporánea: de las técnicas de intervención tradicionales a las nuevas metodologías*. Gipuzkoa: Editorial Nerea.
- Senthilkumar, S., Sivakumar, T., Arulmozhi, K. y Mythili, N. (2017). FT-IR analysis and correlation studies on the antioxidant activity, total phenolics and total flavonoids of Indian commercial teas (*Camellia sinensis* L.) - A novel approach. *International Research Journal of Biological Sciences*. 6(3), 1-7.
- Séquin, M. (2017). Plants' Defense Against Insects. En M. Séquin (Ed.). *The Chemistry of Plants and Insects: Plants, Bugs, and Molecules* (pp. 56-59). Londres: Royal Society of Chemistry.
- Seturaman, D., Uwe, H., y Malliga, P. (2014). Pharmacological potentials of phenolic compounds from *Prosopis* spp.-a review. *Journal of Coastal Life Medicine*. 2(11), 918-924.
- Sibaja, R. (2015). Propiedades Fisicoquímicas y Funcionales de las Gomas de *Acacia cochliacantha* y *Acacia farnesiana*. (Tesis de Doctorado). Instituto Politécnico Nacional. México.
- Sulieman, A. (2018). Gum Arabic as Thickener and Stabilizing Agents in Dairy Products. En A. Abdalbasit (Ed.). *Gum Arabic: Structure, Properties, Application and Economics* (pp. 151-165). London: Academic Press. Elsevier.
- Tristão, A. y Gonzalo, E. (2012). Biopolymers. En V. Telis (Ed.). *Biopolymer Engineering in Food Processing* (pp. 17-69). Florida: CRC Press
- Udo, I., Odoemelam, S. y Okon, E. (2017). Physicochemical and FTIR studies on *Acacia senegal* and *Anacardium occidentale* blends. *Journal of Industrial and Environmental Chemistry*. 1(1), 31-35.

- UNCTAD. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (2018). Goma arábica: el aumento de la demanda crea nuevas oportunidades para los productores africanos. Recuperado de: <https://unctad.org/es/Paginas/PressRelease.aspx?OriginalVersionID=451>
- Universidad de Buenos Aires. (2018). Viscosímetro capilar. Recuperado de: <http://virtual.ffyb.uba.ar/mod/book/view.php?id=88115&chapterid=1946>
- University of Crete. (2004). Conductivity Theory and Practice. (UOC). Recuperado de: http://www.analytical-chemistry.uoc.gr/files/items/6/618/agwgimometria_2.pdf
- Vasile, F., Judis, M. y Mazzobre, F. (2013). Purificación y Caracterización Físicoquímica de la Goma Exudada del Algarrobo Blanco (*Prosopis Alba*) del NEA. Universidad Tecnología Nacional de Argentina. Recuperado de: fre.utn.edu.ar/IIJCyT/clean/files/get/item/2211
- Vasile, F., Romero A., Judis, M. y Mazzobre, M. (2016). *Prosopis alba* exudate gum as excipient for improving fish oil stability in alginate–chitosan beads. *Food Chemistry*. 190, 1093-1101.
- Vasile, F., Romero, A., Judis, M., Mattalloni, M., Virgolini, M. y Mazzobre, M. (2019). Phenolics composition, antioxidant properties and toxicological assessment of *Prosopis alba* exudate gum. *Food Chemistry*. 258, 369-379.
- Vernon, E., Beristain, C. y Pedroza, R. (2000). Mesquite gum (*Prosopis* gum). *Developments in Food Science*. 41, 217-238.
- Williams, D. (s.f.). The Past and Future History of Natural Resins as Coating Materials in Conservation. Conservation Analytical Laboratory Smithsonian Institution. Recuperado de: https://s3.amazonaws.com/theBarn/Articles/Conservation/Williams%2CDon-Natural_Resin_as_Coating_in_Conservation.pdf
- Yaumi, A., Murtala, A., Muhd, H. y Saleh, F. (2016). Determination of Physiochemical Properties of Gum Arabic as a Suitable Binder in Emulsion House Paint. *International Journal of Environmental*. (5), 67-78.
- Yebeyena, D., Lemenihb, M. y Feleke, S. (2009). Characteristics and quality of gum arabic from naturally grown *Acacia senegal* (Linne) Willd. trees in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Food Hydrocolloids*. 23, 175-180.

Zalbidea, A. (2016). Las resinas naturales y su léxico. Universidad Politécnica de Valencia.
Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68311/Zalbidea%20-%20Las%20resinas%20naturales%20y%20su%20l%C3%A9xico.pdf?sequence=1>

9. ANEXOS

ANEXO 1. Certificado Herbario PUCE

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador
Escuela de Ciencias Biológicas
Herbario QCA



Quito, 20 de julio del 2018

A quien corresponda:

Por medio de la presente, certifico que el alumno Felipe Gallegos trajo al Herbario QCA una muestra de "algarrobo" que luego de proseguir con la identificación de esta especie se determina que *Prosopis juliflora*.

A continuación se establece su clasificación taxonómica:

- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Género: *Prosopis*
- Especie: *juliflora*

Esta especie está formando parte de los ecosistemas secos de la costa ecuatoriana.

Agradeciendo la atención que se de a la presente.

Atentamente,

Catalina Quintana M.

Catalina Quintana PhD
Curadora Herbario QCA
Escuela de Ciencias Biológicas PUCE

ANEXO 2. Certificado Pureza Goma Arábica UPS

129, Chemin de Croisset
CS 94151 - 76723 Rouen
France
Tel: 33 (0)2 32 83 18 18
Fax 33 (0)2 32 89 19 19



GOMA ARABIGA

NAME OF PRODUCT INSTANTGUM BA
LOT NUMBER 181327
DATE OF MANUFACTURE 25/10/2018
EXPIRY DATE 25/10/2021 ✓

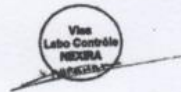
| CERTIFICATE OF ANALYSIS | | | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| TEST | METHOD | SPECIFICATIONS | RESULT |
| DESCRIPTION | | White to yellowish-white powder | White to yellowish-white powder |
| pH OF 25% SOLUTION | Eur.Ph 2.3.3 | 4.1 to 5.0 | 4.7 |
| COLOR OF 25% SOLUTION | Lovibond | ≤10 | 9.8 |
| VISCOSITY OF 25% SOLUTION | Brookfield LVF 60 rpm | 60 to 100 mPa.s | 80 mPa.s |
| MOISTURE (5h -105°C) | USP 921 Method III | ≤10% | 7.6% |
| ACID INSOLUBLE MATTERS | Eur.Ph | ≤0.1% | 0.88% |
| TOTAL ASHES | Eur.Ph | ≤4% | 3.3% |
| ACID INSOLUBLE ASHES | USP 961 | ≤0.5% | 0.5% |
| MESH SIZE through 63 µm | Vibro sifting | ≤15% | 15% |
| LEAD* | ICP-OES/ICP-MS | ≤0.1 ppm | 0.1 ppm |
| ARSENIC* | ICP-OES/ICP-MS | ≤0.1 ppm | 0.5 ppm |
| MERCURY* | SAA | ≤0.1 ppm | 0.1 ppm |
| CADMIUM* | ICP-OES/ICP-MS | ≤0.1 ppm | 0.1 ppm |
| TOTAL HEAVY METAL* | FCC Method II | ≤5 ppm | 5 ppm |
| GLUCOSE AND FRUCTOSE* | HPLC | Passes test | Passes test |
| STARCH, DEXTRIN AND AGAR* | Eur.Ph | Passes test | Passes test |
| STERCULIA GUM* | Eur.Ph | Passes test | Fussy test |
| TRAGACANTHA* | HPLC | Passes test | Passes test |
| TANNINS | Eur.Ph | Passes test | Passes test |
| IDENTIFICATION* | Eur.Ph | Passes test | Passes test |
| TOTAL PLATE COUNT | ISO 4833-1 | ≤500/g | 500/g |
| AEROBIC MESOPHILIC SPORES | ISO 4833-1 | ≤300/g | 300/g |
| YEAST AND MOLDS | ISO 6611 | ≤100/g | 100/g |
| E.COLI | ISO 7251 | ABS/5g | ABS/5g |
| SALMONELLA | ISO 6379-1 | ABS/25g | ABS/25g |

* tested annually (product of the same grade)

Comply with the EC regulation, 231/2012
Conform to Eur.Ph, USP/NF, FCC



BERQEUX, 2018 November 7th



The information contained in this bulletin is correct to the best of our knowledge. The responsibilities in signature forms are made without prejudice or representation as to result, since the conditions of use are beyond our control. We suggest that you evaluate the responsibilities contained in this bulletin as your own. Necessary prior to use. No warranty is to be construed as violating any copyright or patent. They are intended only as source of information.

Société anonyme au capital de 11 040 000 F - R.C. Rouen B 344 719 876

ANEXO 3. Información adicional determinación pH

Tabla 9.1. Valores experimentales de pH para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo, obtenida en las tres zonas de muestreo a 20 °C

| Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| 10 % | 5,04 | 5,06 | 5,04 | 5,05 |
| | 5,09 | 5,05 | 4,94 | 5,05 |
| | 4,94 | 5,02 | 4,98 | 5,04 |
| 30 % | 5,05 | 4,98 | 4,97 | 4,99 |
| | 4,95 | 5,04 | 4,99 | 5,05 |
| | 4,96 | 4,99 | 5,03 | 5,02 |
| 50 % | 4,89 | 5,02 | 5,00 | 4,99 |
| | 4,95 | 5,02 | 4,98 | 5,03 |
| | 4,96 | 5,03 | 4,98 | 5,00 |
| 80 % | 4,95 | 4,89 | 5,04 | 4,88 |
| | 4,97 | 4,90 | 4,95 | 4,90 |
| | 4,97 | 4,88 | 4,97 | 4,93 |

ANEXO 4. Información adicional determinación conductividad

Tabla 9.2. Mediciones de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo

| Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| 10 % | 262,8 | 268,6 | 233,6 | 295,2 |
| | 260,9 | 269,2 | 233,6 | 296,2 |
| | 258,5 | 266,4 | 233,0 | 295,2 |
| 30 % | 478,7 | 469,3 | 424,0 | 505,7 |
| | 480,1 | 471,4 | 426,8 | 506,0 |
| | 479,1 | 468,9 | 424,1 | 505,6 |
| 50 % | 481,9 | 465,2 | 421,0 | 488,6 |
| | 481,7 | 465,4 | 424,7 | 485,0 |
| | 481,8 | 465,3 | 423,4 | 488,1 |
| 80 % | 332,2 | 331,3 | 307,5 | 343,3 |
| | 335,7 | 336,1 | 304,4 | 343,3 |
| | 331,3 | 331,2 | 309,8 | 340,7 |

ANEXO 5. Información adicional determinación densidad

Tabla 9.3. Densidad (g/mL) para soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo medidas a 25 °C

| Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| 10 % | 1,029 | 1,031 | 1,030 | 1,029 |
| | 1,032 | 1,026 | 1,023 | 1,033 |
| | 1,031 | 1,029 | 1,030 | 1,029 |
| 30 % | 1,081 | 1,081 | 1,077 | 1,083 |
| | 1,078 | 1,081 | 1,081 | 1,089 |
| | 1,081 | 1,082 | 1,084 | 1,084 |
| 50 % | 1,125 | 1,125 | 1,101 | 1,125 |
| | 1,127 | 1,126 | 1,105 | 1,127 |
| | 1,125 | 1,128 | 1,100 | 1,124 |
| 80 % | 1,191 | 1,180 | 1,109 | 1,160 |
| | 1,192 | 1,182 | 1,120 | 1,159 |
| | 1,191 | 1,183 | 1,115 | 1,153 |

ANEXO 6. Cálculo de viscosidad relativa

$$\frac{n_{agua}}{n_{goma}} = \left(\frac{\delta_{agua} * t_{agua}}{\delta_{goma} * t_{goma}} \right)$$

$$n_{goma} = \frac{n_{agua}}{\left(\frac{\delta_{agua} * t_{agua}}{\delta_{goma} * t_{goma}} \right)} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Dónde:

n_{goma} = Viscosidad relativa, goma

n_{agua} = Viscosidad relativa agua a 25 °C

δ_{agua} = Densidad del agua

δ_{goma} = Densidad de la goma

t_{agua} = Tiempo transcurrido en segundos, del agua, entre las dos marcas del viscosímetro

t_{goma} = Tiempo transcurrido en segundos, de la goma, entre las dos marcas del viscosímetro

$$n_{goma} = \frac{0,890 \text{ cp}}{\left(\frac{0,998 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 16 \text{ seg}}{1,029 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 68 \text{ seg}} \right)}$$

$$n_{goma} = \frac{0,890 \text{ cp}}{(0,228)}$$

$$n_{goma} = 3,90 \text{ cp}$$

Los valores de densidad fueron tomados a partir de los resultados obtenidos en las cuatro muestras de goma a concentraciones de 10, 30, 50 y 80 % (p/v) con sus respectivas repeticiones; ver Tabla 9.3.

Tabla 9.4. Valor de densidad y tiempo transcurrido durante el desplazamiento de agua destilada a 25 °C por el viscosímetro de Ostwald

| Tiempo (seg) | Densidad (g/mL) |
|-------------------------|----------------------------|
| 16 | 0,998 |

Tabla 9.5. Tiempo, en segundos, transcurrido durante el desplazamiento de las soluciones acuosas de muestras de goma por el viscosímetro de Ostwald

| Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| 10 % | 68 | 58 | 55 | 77 |
| | 68 | 59 | 55 | 76 |
| | 69 | 58 | 55 | 77 |
| 30 % | 502 | 476 | 366 | 631 |
| | 495 | 476 | 371 | 644 |
| | 498 | 481 | 372 | 646 |
| 50 % | 1895 | 1935 | 1495 | 3150 |
| | 1879 | 1913 | 1489 | 3172 |
| | 1931 | 1931 | 1501 | 3196 |
| 80 % | 11783 | 11756 | 11152 | 19648 |
| | 12040 | 11886 | 10907 | 19408 |
| | 11975 | 11710 | 11008 | 19529 |

Tabla 9.6. Valores de viscosidad relativa (cP) para diferentes soluciones acuosas de goma arábica y goma de algarrobo medidas a 25 °C

| Concentración | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| 10 % | 3,90 | 3,34 | 3,16 | 4,42 |
| | 3,91 | 3,38 | 3,14 | 4,38 |
| | 3,97 | 3,33 | 3,16 | 4,42 |
| 30 % | 30,28 | 28,71 | 22,00 | 38,13 |
| | 29,77 | 28,71 | 22,38 | 39,13 |
| | 30,04 | 29,04 | 22,50 | 39,07 |
| 50 % | 118,96 | 121,47 | 91,85 | 197,74 |
| | 118,16 | 120,19 | 91,81 | 199,47 |
| | 121,22 | 121,54 | 92,13 | 200,45 |
| 80 % | 783,06 | 741,25 | 690,10 | 1271,76 |
| | 800,81 | 783,94 | 681,63 | 1255,14 |
| | 795,82 | 772,98 | 684,87 | 1256,42 |

ANEXO 7. Cálculo porcentaje de humedad

$$\% H = \frac{(Pm + Pc) - Pf}{Pm} * 100 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Dónde:

% H = Porcentaje de Humedad

Pf = Peso muestra seca más cápsula

Pm = Peso muestra

Pc = Peso cápsula tarada

$$\% H = \frac{(4,0053 \text{ g} + 38,6570 \text{ g}) - 42,2653 \text{ g}}{4,0053 \text{ g}} * 100$$

$$\%H = 9,91 \%$$

Tabla 9.7. Pesos, en gramos, empleados para la determinación del porcentaje de humedad presente en cuatro muestras de goma

| Muestra | Peso cápsula tarada (g) | Peso muestra (g) | Cápsula + muestra seca (g) | % Humedad |
|----------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Zona 1 | 38,6570 | 4,0053 | 42,2653 | 9,91 |
| | 53,0164 | 4,0042 | 56,6196 | 10,01 |
| | 43,2558 | 4,0033 | 46,8615 | 9,93 |
| Zona 2 | 41,0788 | 4,0064 | 44,6898 | 9,87 |
| | 57,7824 | 4,0028 | 61,3931 | 9,80 |
| | 53,4268 | 4,0015 | 57,0332 | 9,87 |
| Zona 3 | 43,4013 | 4,0005 | 46,9839 | 10,45 |
| | 42,6644 | 4,003 | 46,2468 | 10,51 |

| | | | | |
|-------------------------|---------|--------|---------|-------|
| | 38,6358 | 4,0014 | 42,2219 | 10,38 |
| Goma Arábica | 37,2656 | 4,0046 | 40,8268 | 11,07 |
| | 40,3774 | 4,0026 | 43,8654 | 12,86 |
| | 38,368 | 4,0048 | 41,8575 | 12,87 |

ANEXO 8. Cálculo porcentaje de cenizas

$$\% C = \frac{(Pf - Pc)}{Pm} * 100 \quad \text{Ec. 4.3}$$

Dónde:

% C = Porcentaje de Cenizas

Pf = Peso crisol más cenizas

Pm = Peso muestra

Pc = Peso del crisol tarado

$$\% C = \frac{(68,6301 \text{ g} - 68,5567 \text{ g})}{2,0056 \text{ g}} * 100$$

$$\%C = 3,66 \%$$

Tabla 9.8. Valores experimentales de los pesos utilizados para la determinación del porcentaje de cenizas en goma de algarrobo y goma arábica

| Muestra | N° Repetición | Peso crisol tarado (g) | Peso muestra (g) | Crisol + muestra calcificada (g) | % Cenizas |
|----------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|------------------|
| Zona 1 | 1 | 68,5567 | 2,0056 | 68,6301 | 3,66 |
| | 2 | 67,7473 | 2,0056 | 67,8288 | 4,06 |
| | 3 | 67,7953 | 2,0185 | 67,8704 | 3,72 |
| Zona 2 | 1 | 63,0115 | 2,0003 | 63,0922 | 4,03 |
| | 2 | 67,6375 | 2,0004 | 67,7165 | 3,95 |
| | 3 | 65,013 | 2,0048 | 65,0945 | 4,07 |
| Zona 3 | 1 | 65,2756 | 2,0095 | 65,3216 | 2,29 |

| | | | | | |
|-------------------------|----------|---------|--------|---------|------|
| | 2 | 59,5919 | 2,018 | 59,6541 | 3,08 |
| | 3 | 73,5812 | 2,004 | 73,6392 | 2,89 |
| Goma Arábica | 1 | 66,6388 | 2,0058 | 66,7182 | 3,96 |
| | 2 | 66,7333 | 2,003 | 66,8203 | 4,34 |
| | 3 | 65,5011 | 2,0169 | 65,5846 | 4,14 |

ANEXO 9. Cálculo porcentaje de proteína y nitrógeno total

$$\% N = \frac{[(V_{HCl} - V_{Blanco}) * M_{HCl} * 14,01 \text{ g/mol}]}{\text{Peso muestra} * 10} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Dónde:

% N = Porcentaje de nitrógeno

V_{HCl} = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación

V_{Blanco} = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación del blanco

M_{HCl} = Molaridad del ácido clorhídrico

$$\% N = \frac{[(8,9 \text{ mL} - 0,2 \text{ mL}) * 0,2 \text{ M} * 14,01 \text{ g/mol}]}{5,0038 \text{ g} * 10}$$

$$\% N = 0.49 \%$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N * F$$

Ec. 4.5

Dónde:

% P = Porcentaje de proteína

% N = Porcentaje de nitrógeno

F = Factor de conversión (6.25)

$$\% \text{ Proteína} = 0.49 \% * (6.25)$$

$$\% \text{ Proteína} = 3,06 \%$$

Tabla 9.9. Datos experimentales de pesos y volúmenes usados en la determinación del porcentaje de proteína y nitrógeno total

| Muestra | Peso muestra (g) | Volumen de HCl (mL) | % Nitrógeno | % Proteína |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|
| Zona 1 | 5,0038 | 8,9 | 0,49 | 3,06 |
| | 5,0260 | 8,8 | 0,48 | 3,00 |
| | 5,0013 | 8,9 | 0,49 | 3,06 |
| Zona 2 | 5,0089 | 8,6 | 0,47 | 2,94 |
| | 5,0636 | 8,7 | 0,48 | 3,00 |
| | 5,0071 | 8,6 | 0,48 | 3,00 |
| Zona 3 | 5,0070 | 7,6 | 0,42 | 2,63 |
| | 5,0063 | 7,5 | 0,41 | 2,56 |
| | 5,0020 | 7,6 | 0,42 | 2,63 |
| Goma Arábica | 5,0157 | 5,4 | 0,29 | 1,81 |
| | 5,0177 | 5,5 | 0,30 | 1,88 |
| | 5,0199 | 5,4 | 0,29 | 1,81 |

Tabla 9.10. Pesos y volúmenes empleados para la determinación del porcentaje de nitrógeno en muestras de control de L-triptófano

| N° Repetición | Peso L-triptófano (g) | Volumen de HCl (mL) | Nitrógeno % |
|----------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | 0,2028 | 8,0 | 10,77 |
| 2 | 0,2036 | 8,2 | 11,14 |
| 3 | 0,2069 | 8,1 | 10,83 |

ANEXO 10. Cálculo cuantificación de fenoles totales a partir de la ecuación de la recta

$$y = 0,1854x + 0,0474$$

$$x = \frac{y - 0,0474}{0,1854}$$

$$x = \frac{(\text{absorbancia muestra}) - 0,0474}{0,1854}$$

$$x = \frac{(0,4314\text{mg/L}) - 0,0474}{0,1854}$$

$$x = 2,07 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de ácido gálico}$$

$$\text{Factor de Dilución} = \frac{2 \text{ mL de disolvente}}{0,1 \text{ mL de muestra}}$$

$$F.D = 20$$

$$\text{Concentración de TCP} = x * F.D$$

$$\text{Concentración de TCP} = 2,04 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 20$$

$$\text{Concentración Final de TCP} = 41,42 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\frac{\text{mg GAE}}{100 \text{ g muestra}} = \text{Concetración Final} * \frac{\text{mL disolvente MeOH}}{\text{Peso muestra goma}} * 100 \text{ g}$$

$$\frac{mg \text{ GAE}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{41,42 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} * \frac{10 \text{ mL disolvente}}{1,0038 \text{ g}} * 100 \text{ g}$$

$$\text{Concentración} = 41,26 \frac{mg \text{ GAE}}{100 \text{ g muestra}}$$

Tabla 9.11. Datos experimentales de absorbancia y concentración, obtenidos en el análisis de TPC para muestras de goma de algarrobo de las zonas 1, 2 y 3 y goma arábica

| | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Goma Arábica |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| Absorbancia (U.A) | 0,4314 | 0,3960 | 0,2305 | 0,1460 |
| | 0,4072 | 0,4040 | 0,2269 | 0,1441 |
| | 0,4292 | 0,3869 | 0,2075 | 0,1485 |
| Concentración en curva (mg/L) | 2,07 | 1,88 | 0,99 | 0,53 |
| | 1,94 | 1,92 | 0,97 | 0,52 |
| | 2,06 | 1,83 | 0,86 | 0,55 |
| Concentración en mg GAE/100 g | 41,26 | 36,91 | 19,37 | 10,52 |
| | 38,65 | 38,02 | 19,12 | 10,38 |
| | 40,33 | 36,43 | 16,99 | 10,82 |

Tabla 9.12. Cantidad de muestra de goma de algarrobo y goma arábica, usadas para la determinación del contenido total de fenoles

| Muestra | N° Repetición | Peso muestra (g) |
|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Zona 1 | 1 | 1,0038 |
| | 2 | 1,0042 |
| | 3 | 1,0212 |

| | | |
|---------------------|----------|--------|
| Zona 2 | 1 | 1,0189 |
| | 2 | 1,0118 |
| | 3 | 1,0052 |
| Zona 3 | 1 | 1,0196 |
| | 2 | 1,0127 |
| | 3 | 1,0166 |
| Goma Arábica | 1 | 1,0112 |
| | 2 | 1,0050 |
| | 3 | 1,0076 |

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR DECLARACIÓN Y
AUTORIZACIÓN

Yo, Gallegos Peralta Felipe Eduardo, C.I. 1715462105, autor del trabajo de graduación titulado: “Análisis fisicoquímico y determinación del contenido fenólico total del exudado del árbol de algarrobo *Prosopis juliflora* (Fabaceae).”, previa a la obtención del grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 19 de noviembre de 2019



Gallegos Peralta Felipe Eduardo
C.C. 1715462105