

|                                                                                   |                                                             |                |          |                 |             |                                                                                     |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA<br/>GESTIÓN DE BIBLIOTECAS</b> |                |          |                 |             |  |               |
|                                                                                   | <b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>                                |                |          |                 |             |                                                                                     |               |
| <b>CÓDIGO</b>                                                                     | <b>AP-BIB-FO-06</b>                                         | <b>VERSIÓN</b> | <b>1</b> | <b>VIGENCIA</b> | <b>2014</b> | <b>PÁGINA</b>                                                                       | <b>1 de 1</b> |

Neiva, 15 de noviembre de 2022.

Señores

**CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN  
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

Las suscritas:

**Daniela Martínez López**, con C.C. No. 1.075.311.520, y

**Laura Camila Ruiz Tama**, con C.C. No. 1.060.655.227,

Autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado **Efecto del secado convectivo bajo diferentes condiciones, en Aloe Vera (Aloe Barbadensis) sobre algunas propiedades fisicoquímicas y microbiológicas** presentado y aprobado en el año **2022** como requisito para optar al título de **Ingenieras Agrícolas**;

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

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

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

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: *Daniela M.L*

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: *Camila R. Tama*

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

|                                                                                   |                                                      |                |          |                 |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b>                     |                |          |                 |             |    <br><small>ISO 9001 ISO 14001 ISO 45001 ISI.NET</small> |               |
|                                                                                   | <b>GESTIÓN DE BIBLIOTECAS</b>                        |                |          |                 |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |               |
|                                                                                   | <b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b> |                |          |                 |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |               |
| <b>CÓDIGO</b>                                                                     | <b>AP-BIB-FO-07</b>                                  | <b>VERSIÓN</b> | <b>1</b> | <b>VIGENCIA</b> | <b>2014</b> | <b>PÁGINA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>1 de 3</b> |

### TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

“EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO BAJO DIFERENTES CONDICIONES, EN ALOE VERA (ALOE BARBADENSIS) SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS”.

### AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| MARTÍNEZ LÓPEZ             | DANIELA                  |
| RUIZ TAMA                  | LAURA CAMILA             |

### DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| SÁNCHEZ SÁENZ              | CAROLINA MARÍA           |
| AMOROCHO CRUZ              | CLAUDIA MILENA           |

### ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
|                            |                          |

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERA AGRÍCOLA**

**FACULTAD: INGENIERÍA**

**PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**CIUDAD: NEIVA**

**AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022**

**NÚMERO DE PÁGINAS: 26**

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas\_\_\_ Fotografías X Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general x  
 Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_  
 Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros x

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

|                                                                                   |                                                                   |                |          |                 |             |                                                                                     |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b><br><b>GESTIÓN DE BIBLIOTECAS</b> |                |          |                 |             |  |               |
| <b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>                              |                                                                   |                |          |                 |             |                                                                                     |               |
| <b>CÓDIGO</b>                                                                     | <b>AP-BIB-FO-07</b>                                               | <b>VERSIÓN</b> | <b>1</b> | <b>VIGENCIA</b> | <b>2014</b> | <b>PÁGINA</b>                                                                       | <b>2 de 3</b> |

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: NO

**MATERIAL ANEXO:** Tablas complemento de figuras.

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): NO

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

| <u>Español</u>      | <u>Inglés</u> |
|---------------------|---------------|
| 1. Aloe Vera        | Aloe vera     |
| 2. Modelo de Page   | Page's Model  |
| 3. FTIR             | FTIR          |
| 4. Curvas de secado | Drying curves |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Conservar los compuestos que contiene el Aloe Vera (*Barbadensis* Miller) a través de secado convectivo fue el objetivo del presente estudio, además de realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los cuales estas propiedades no se vieran afectadas. El presente estudio se evaluó por medio de un Diseño experimental Central Compuesto Rotacional (DCCR) y se aplicó el modelo matemático de Page para la construcción de curvas de secado. Se evaluaron 11 tratamientos, cuyas variables independientes fueron: la temperatura del secador (entre 50 y 60 °C) y velocidad del aire de secado (entre 2,2 y 4,5 m/s). Luego del proceso convectivo se sometieron las muestras a análisis fisicoquímicos de pH, acidez titulable, aw y color, encontrando que ninguno de estos parámetros tuvo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los análisis realizados para la observación de grupos funcionales a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier - FTIR demostraron por medio de la observación de grupos fenólicos y carboxílicos que hay presencia de aloína, emodina y ácido ascórbico en el Aloe Vera (AV) deshidratado. Los análisis microbiológicos mostraron en el producto seco presencia de microorganismos en cantidades aptas para el consumo de este producto, demostrando así que la deshidratación de AV es conveniente para su conservación.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The objective of this study was to preserve the compounds contained in Aloe Vera (*Barbadensis* Miller) through convective drying, in addition to performing physicochemical and microbiological analyses in which these properties were not affected. The present study was evaluated by means of



a Rotational Composite Central Composite Experimental Design (RCCD) and Page's mathematical model was applied for the construction of drying curves. Eleven treatments were evaluated, whose independent variables were: dryer temperature (between 50 and 60 °C) and drying air speed (between 2.2 and 4.5 m/s). After the convective process, the samples were subjected to physicochemical analysis of pH, titratable acidity, aw and color, finding that none of these parameters had statistically significant differences between treatments. The analyses carried out for the observation of functional groups through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) showed, through the observation of phenolic and carboxylic groups, the presence of aloin, emodin and ascorbic acid in the dehydrated Aloe Vera (AV). Microbiological analyses showed the presence of microorganisms in the dried product in quantities suitable for the consumption of this product, thus demonstrating that the dehydration of AV is convenient for its conservation.

### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Yaneth Liliana Ruiz Osorio

Firma:

Nombre Jurado: Víctor Manuel Martínez Castro

Firma:

**EFFECTO DEL SECADO CONVECTIVO BAJO DIFERENTES  
CONDICIONES, EN ALOE VERA (*ALOE BARBADENSIS*) SOBRE  
ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS.**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola  
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autoras:

Daniela Martínez López: 20152141864

Laura Camila Ruiz Tama: 20152141373

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Neiva, Huila, Colombia. 2022

Firma

Carolina Sánchez S.

Director: Carolina María Sánchez Sáenz

Firma

Claudia Milena Amorocho Cruz

Codirector: Claudia Milena Amorocho Cruz

Nota de aceptación

\_\_\_\_\_

Firma

Yaneth Liliana Ruiz Osorio

Jurado: Yaneth Liliana Ruiz Osorio

Firma

Víctor Manuel Martínez Castro

Jurado: Víctor Manuel Martínez Castro

# **EFFECTO DEL SECADO CONVECTIVO BAJO DIFERENTES CONDICIONES, EN ALOE VERA (*ALOE BARBADENSIS*) SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS.**

## **RESUMEN**

Conservar los compuestos que contiene el Aloe Vera (*Barbadensis* Miller) a través de secado convectivo fue el objetivo del presente estudio, además de realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los cuales estas propiedades no se vieran afectadas. El presente estudio se evaluó por medio de un Diseño experimental Central Compuesto Rotacional (DCCR) y se aplicó el modelo matemático de Page para la construcción de curvas de secado. Se evaluaron 11 tratamientos, cuyas variables independientes fueron: la temperatura del secador (entre 50 y 60 °C) y velocidad del aire de secado (entre 2,2 y 4,5 m/s). Luego del proceso convectivo se sometieron las muestras a análisis fisicoquímicos de pH, acidez titulable, aw y color, encontrando que ninguno de estos parámetros tuvo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los análisis realizados para la observación de grupos funcionales a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier - FTIR demostraron por medio de la observación de grupos fenólicos y carboxílicos que hay presencia de aloína, emodina y ácido ascórbico en el Aloe Vera (AV) deshidratado. Los análisis microbiológicos mostraron en el producto seco presencia de microorganismos en cantidades aptas para el consumo de este producto, demostrando así que la deshidratación de AV es conveniente para su conservación.

**Palabras clave:** *Aloe Vera; modelo de Page; FTIR, curvas de secado.*

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to preserve the compounds contained in Aloe Vera (*Barbadensis* Miller) through convective drying, in addition to performing physicochemical and microbiological analyses in which these properties were not affected. The present study was evaluated by means of a Rotational Composite Central Composite Experimental Design (RCCD) and Page's mathematical model was applied for the construction of drying curves. Eleven treatments were evaluated, whose independent variables were: dryer temperature (between 50 and 60 °C) and drying air speed (between 2.2 and 4.5 m/s). After the convective process, the samples were subjected to physicochemical analysis of pH, titratable acidity, aw and color, finding that none of these parameters had statistically significant differences between treatments. The analyses carried out for the observation of functional groups through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) showed, through the observation of phenolic and carboxylic groups, the presence of aloin, emodin and ascorbic acid in the dehydrated Aloe Vera (AV). Microbiological analyses showed the presence of microorganisms in the dried product in quantities suitable for the consumption of this product, thus demonstrating that the dehydration of AV is convenient for its conservation.

**Key words:** *Aloe Vera; Page's model; FTIR, drying curves.*

## INTRODUCCIÓN

El Aloe vera (AV), conocido comúnmente como Sábila, es una planta suculenta perenne perteneciente a las Liliáceas originaria de las regiones secas y calientes del norte y este de África (Reyes & Fernández, 2014) que ha sido utilizada desde hace más de tres mil años por sus propiedades curativas y terapéuticas (Serrano, 2017). Esta planta es rica en vitamina E, C y A, es baja en grasa y posee un alto contenido de fibra (Miranda, Maureira, Rodríguez, & Vega, 2009) además de su alto contenido de compuestos activos que contribuyen con la salud del ser humano, el cuidado de la piel, el fortalecimiento del sistema inmune, entre otros, y por ello es muy utilizada en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmetológica (Artunduaga, Vargas, & Barrera, 2021). Actualmente se reconocen alrededor de 400 especies de AV (Vargas & María, 2019), siendo el Aloe Barbados Miller el más utilizado para la extracción del gel y acíbar y el Aloe ferox del que se obtiene acíbar (Carrascal, 2020). El acíbar (savia del AV), es una sustancia amarilla que se encuentra en los conductos entre la hoja y la corteza, es el líquido que se expulsa en el momento que se realiza un corte a la hoja como mecanismo de protección ante depredadores con su olor fuerte y sabor amargo que se le atribuye a la Aloína. Este producto posee efectos laxantes que lo hacen útil para la industria farmacéutica (Carrascal, 2020). El gel de AV es el extracto interno de la planta, es gelatinoso y transparente y está constituido básicamente de agua, carbohidratos, ácidos y sales orgánicas, enzimas, esteroides, triacilglicéridos, aminoácidos, ARN, trazas de alcaloides, vitaminas y diversos minerales (Reynolds, 2004). El gel representa del 65 al 80% del peso total de la planta, y existen evidencias de que este producto contiene sustancias que presentan efectos terapéuticos, farmacológicos y biológicos de gran importancia para los seres vivos (Domínguez, et al. 2012). La producción de AV a nivel mundial está liderada por los países latinoamericanos siendo México el mayor productor con alrededor de 160.500 toneladas en 2017 (MINAGRICULTURA, 2018). Colombia es un país con gran potencial para producir altos volúmenes de AV (Robledo, Valencia, & Hincapié, 2017) pero aún no se cultiva a gran escala, aunque este cultivo ha evolucionado en los últimos años siendo el Valle del Cauca y Risaralda los mayores productores en el país y con más altos rendimientos, razón por la cual se pueden cubrir las altas demandas de productos derivados del AV en el mercado nacional e internacional (Salgado & Agudelo, 2019).

En la industria alimentaria se necesita cada vez más mejorar la calidad de los productos y es de conocerse que la gran mayoría de los alimentos que consumimos a diario son perecederos, lo que requiere que el consumo se realice en poco tiempo y que el almacenamiento sea adecuado o que el producto se haya sometido previamente a algún proceso de conservación. El secado de productos biológicos es el método más utilizado para conservar los alimentos (Vega, y otros, 2011) ya que al someter los productos a alta temperatura, se reduce la actividad de agua y con ello la incidencia de microorganismos descomponedores dentro del producto (Mejía, 2011) y así se puede extender su vida útil (Miranda, y otros, 2010). Para el caso del AV se realizan procesos como el secado por convección forzada, secado por aspersión, liofilización (Ray, Gupta, Ghosh, Aswatha, & Kabi, 2013), secado por ventana refractante y el secado por radiación infrarroja (Mejía, 2011). Algunos de estos procesos pueden causar daños irreversibles en las características fisicoquímicas del producto si no se manejan las condiciones apropiadas (Minjares, y otros, 2016). Cabe mencionar que el mismo AV se utiliza como conservante en forma de recubrimiento para algunas frutas y verduras (Mohd Nizam, y otros, 2021).



Teniendo en cuenta todos los beneficios del AV es inevitable querer aprovechar al máximo estos compuestos que aportan múltiples beneficios a la salud. El AV es un producto de fácil acceso, pero al ser altamente perecedero por su alto contenido de agua y permitir la actividad de microorganismos dentro de ella y con ello su rápida descomposición, se hace necesario buscar métodos de conservación para darle un buen uso a esta materia prima. Esta investigación se realiza con el objetivo de encontrar los parámetros óptimos operacionales del secado convectivo en los cuales se puedan mantener todos o la mayoría de los compuestos que brinda el AV en fresco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

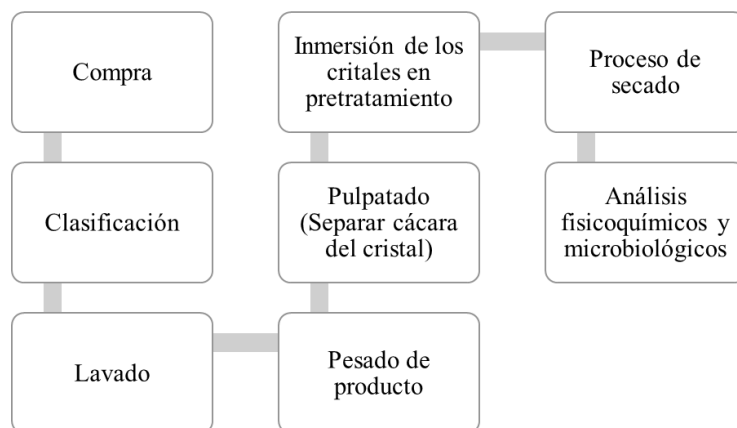
### Análisis preliminares.

Se ajustó la metodología para la evaluación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y construcción de curvas de secado aplicando el modelo matemático de Page.

Para evitar el pardeamiento (color violeta) del producto, se seleccionó como recubrimiento fécula de maíz, almidón de yuca y fécula de plátano dando mejor resultado este último, mejorando el aspecto físico del producto (AV) al finalizar el proceso de secado. Se seleccionó como recubrimiento o pretratamiento de los cristales en relación de 20 gramos en 1 litro de agua.

Las pencas de AV, se adquirieron de un mismo establecimiento comercial, con el fin de controlar que las condiciones de cultivo de todas las pencas fueran similares.

En la Figura 1 se observa las actividades realizadas, desde la compra hasta los análisis finales.



**FIGURA 1.** Actividades realizadas en AV, para el presente proyecto.

Fuente. Elaboración propia.

### Curvas de secado

Se sometieron los cristales de AV al proceso de secado en un horno de convección forzada (Memmert UF55, Alemania). Las variables independientes experimentales fueron: velocidad del aire de secado (entre 2,2 y 4,5 m/s) y temperatura (entre 50 y 60°C). Estos rangos operacionales se eligieron teniendo en cuenta la capacidad del equipo y para la temperatura por recomendaciones

de Artunduaga, Vargas, & Barrera, (2021) autores que previamente realizaron investigación en este proceso. Se trabajó con la trampilla del equipo abierta en su totalidad (100%) para garantizar la salida del aire húmedo interno del equipo.

La preparación de las muestras y el proceso de secado para cada tratamiento se desarrolló de la siguiente manera:

1. Se aseguró que el espesor de los cristales de AV fuera de 1 cm. Para ello se empleó un medidor tipo pie de rey digital, luego se realizaron tomas del espesor en diferentes lugares del cristal.
2. Se sumergieron por dos minutos los cristales en el pretratamiento seleccionado (fécula de plátano) en los análisis preliminares.
3. Se ingresaron los cristales al secador y se registró el peso de los mismos durante los siguientes intervalos de tiempo: 8 mediciones con intervalo de 15 minutos, 6 mediciones con intervalo de 30 minutos y entre 4 y 6 mediciones con intervalos de 60 minutos. Este último valor dependió de las variables de cada tratamiento.

Se finalizó el proceso de secado cuando las muestras no presentaron cambio de masa (humedad de equilibrio). Finalmente, se sacaron las muestras y se almacenaron para los análisis posteriores.

Para determinar las curvas de secado se utilizó el modelo de Page (1) que, según Vega, Uribe & Lemus (2007) es el modelo que mejor se ajusta a la matriz utilizada.

$$Y = \exp(-kt^n) \quad (1)$$

donde: Y = Contenido de humedad adimensional; k & n = Constantes del modelo; t = Tiempo.

Los coeficientes del modelo de Page se obtuvieron por regresión no lineal de los datos experimentales, utilizando el software Statistica 10.0 (2010) y el método de ajuste Quasi-Newton.

### **Análisis Fisicoquímicos.**

Para estos análisis se utilizó el producto generado del proceso de secado para cada uno de los tratamientos y se tomó información inicial del producto para los parámetros de actividad de agua y color.

PH:

Se adoptó la norma AOAC Official method 981.12 referente a pH en alimentos y se ajustó para el caso específico del AV. Se utilizó una relación de 0,1 g de AV triturado seco por 10 ml de agua destilada. El equipo utilizado fue el potenciómetro OHAUS 3100M, USA.

ACIDEZ TITULABLE:

Se adoptó la norma NTC 440 referente a Productos Alimenticios; Métodos de ensayo. Se utilizó una relación de 0,1 g de AV triturado seco por 10 ml de agua destilada. Se utilizó Hidróxido de Sodio (NaOH) a 0,1N y el indicador de titulación fue fenolftaleína junto con la medición del potenciómetro a 8,1 puntos de pH. El porcentaje de acidez titulable (%AT) como ácido ascórbico (ácido predominante en el AV) se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%AT = \left[ \frac{Vt * N * Meq \text{ Ácido}}{Vm} \right] * 100 \quad (2)$$

donde: %AT = Porcentaje de acidez; Vt = Volumen total de NaOH (ml); N = Normalidad (0,1); Meq Ácido = 0,088 ácido ascórbico; Vm = Volumen de la muestra (ml).

#### COLOR:

Se midió con el equipo Konica Minolta CR-410 HEAD, utilizando el iluminante D65 y observador con ángulo de visión de 2°, Japón. El cual mide luminosidad (L\*), coordenadas del rojo y verde (a\*) y coordenadas del amarillo y azul (b\*) y se analizó a través de las coordenadas CIELab. Además, se realizó el cálculo del índice de blancura utilizando la ecuación (3).

$$IB = 100 - (100 - L^*)^2 + a^*^2 + b^*^2 \quad (3)$$

donde: IB = Índice de blancura

#### ACTIVIDAD DE AGUA PUNTUAL ( $a_w$ ):

Se midió con el equipo AquaLab Analizador de Absorción de Vapor o VSA, AQUALA, USA. El equipo arroja valores de intervalo entre 1 y 0, los cuales corresponden al nivel de  $a_w$  que contiene el producto. Se busca para AV valores por debajo de 0,4 para evitar la proliferación microbiana en el producto. Es necesario máximo 5 g de producto para realizar esta medición.

#### INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER - FTIR:

Para la identificación y cuantificación de grupos funcionales presentes en AV luego del proceso de secado, se colocaron las muestras individualmente de cada tratamiento sobre el cristal para hacer la respectiva medición con el equipo Agilent Technologies Cary 630 FTIR-ATR, USA y se programó para un rango espectral de 4000 - 650 cm<sup>-1</sup>.

#### **Análisis microbiológicos.**

Se realizaron análisis microbiológicos al producto en fresco y seco, por duplicado. La norma establece que la relación debe ser 1 g en 9 ml, pero debido a las propiedades higroscópicas del AV no fue posible utilizar esa cantidad ya que el producto se hidrataba y absorbía la totalidad del líquido. Por lo tanto, se utilizó 0,1 g del producto seco y se disolvió en 9 ml de agua de peptona.

Sobre el producto se realizaron los siguientes análisis microbiológicos:

#### HONGOS (MOHOS Y LEVADURAS):

En base a la NTC 5698-2, se disolvieron 0,1 g del producto generado del proceso de secado en 9 ml de agua de peptona y se homogeneizó; el producto de este proceso fue la dilución 10-1. Se realizan diluciones seriadas hasta la 10-3 tomando 0,1 ml de muestra de la dilución con mayor concentración y agregándola a un tubo de ensayo con 9 ml de agua de peptona. Posteriormente, se tomó 1 ml de cada tubo y se transfirió a una placa de Petri estéril para realizar siembra en profundidad y sobre esta muestra se vertieron aproximadamente 25 ml de Agar Levadura Glucosa Cloranfenicol, cuyas siglas en inglés son (YGC). Luego, se homogeneizó realizando movimientos circulares en sentido de las manecillas del reloj y se dejó solidificar. Por último, se sellaron las placas de Petri en la periferia por los bordes con papel Parafilm para evitar posible contaminación o salida de esporas de los potenciales microorganismos y se llevaron a incubación a 30°C, observando el crecimiento de microorganismos a las 24 y 48 horas, en aerobiosis.

#### MESÓFILOS:

Según la norma ISO 4833-1, se disolvió 0,1 g del producto generado del proceso de secado en 9 ml de agua de peptona y se homogeneizó; el producto de este proceso fue la dilución 10-1. Se realizan diluciones seriadas hasta la 10-3 tomando 0,1 ml de muestra de la dilución con mayor concentración y agregándola a un tubo de ensayo con 9 ml de agua de peptona, así sucesivamente. Posteriormente, se tomó 1 ml de cada tubo y se transfirió a una placa de Petri estéril para realizar siembra en profundidad y sobre esta muestra se vertieron aproximadamente 25 ml de Agar Plate Count (PCA) con temperatura entre los 44 y 47°C para conservar los microorganismos. Luego, se homogeneizó realizando movimientos circulares en sentido de las manecillas del reloj y se dejó solidificar. Una vez el medio se solidificó, se invirtieron las placas y se llevaron a incubación a 37°C, realizando conteo de las colonias a las 24 y 48 horas.

#### ENTEROBACTERIAS:

Según la norma ISO 21528-2, se disolvió 0,1 g del producto generado del proceso de secado en 9 ml de agua de peptona y se homogeneizó; el producto de este proceso fue la dilución 10-1. A partir de esta dilución inicial, se tomó 0,1 ml de muestra para hacer diluciones hasta la 10-3. Posteriormente, se tomó 1ml de cada tubo y se transfirió a una placa de Petri estéril para realizar siembra en profundidad y sobre esta muestra se vertieron aproximadamente 25 ml de Agar MacCONKEY. Luego, se homogeneizó realizando movimientos circulares en sentido de las manecillas del reloj y se dejó solidificar. Por último, se incubó a 37°C, realizando conteo de las colonias a las 24 y 48 horas.

#### **Pruebas bioquímicas**

Se realizaron pruebas bioquímicas confirmativas para cada uno de los microorganismos encontrados. Estas pruebas fueron realizadas a cada tratamiento por duplicado, y fueron las siguientes:

#### CATALASA

En un portaobjetos se depositó una gota de peróxido de hidrógeno. Luego, se usó un asa estéril y se tomó una muestra del cultivo puro de cada placa, la cual se mezcló con el peróxido de hidrógeno. Cuando se observaron burbujas se consideró catalasa positiva y en caso contrario catalasa negativa.

TSI:

Según la NTC 4574, se realizó siembra tipo triple estría en la superficie inclinada del agar y, adicionalmente se tomó la misma muestra y se introdujo por punción al interior del medio hasta la parte profunda del tubo de ensayo. Se incubó a 37°C por 24 horas y se observaron las reacciones y cambios en el medio.

TINCIÓN GRAM:

Se tomaron muestras de cada microorganismo aislado y se extendió cada una en un portaobjetos con una gota de agua destilada con ayuda de un asa estéril. Luego, se tomó el portaobjetos con una pinza y se pasó sobre la llama del mechero de tres a cuatro veces para fijar el microorganismo, hasta que se evaporó la totalidad del agua. Una vez el portaobjetos se encontraba aclimatado se procedió a aplicar unas gotas de violeta de genciana, se dejó actuar por un minuto y se retiró con la aplicación de lugol, dejando actuar este reactivo por un minuto más. Después se lavó el portaobjetos con agua destilada y se aplicó la fucsina dejando actuar por tres minutos. Por último, se lavó el portaobjetos con abundante agua destilada y se dejó secar para posteriormente realizar la observación en el microscopio. Este procedimiento se realizó con cada una de las muestras.

TINCIÓN AZÚL DE LACTOFENOL:

Se realizó el mismo proceso de fijación del microorganismo en el portaobjeto, y se aplicó como reactivo colorante el azul de lactofenol por tres minutos y se cubrió con un cubreobjetos para la observación en microscopio.

### Diseño experimental.

DISEÑO CENTRAL COMPUESTO ROTACIONAL – DCCR:

Las variables utilizadas en el proceso de secado fueron temperatura y velocidad del aire de secado, como se muestra en la tabla 1.

**TABLA 1.** Variables utilizadas en el horno para el proceso de secado.

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>Temperatura (°C)</b>                   | 50 - 60   |
| <b>Velocidad del aire de secado (m/s)</b> | 2,2 - 4,5 |

Se construyó el Diseño Central Compuesto Rotacional para  $k=2$  con los respectivos valores experimentales como se muestra en las tablas 2 y 3.

**TABLA 2.** Diseño Central Compuesto Rotacional para  $k=2$ .

|           | <b>-<math>\alpha</math></b> | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>+<math>\alpha</math></b> |
|-----------|-----------------------------|-----------|----------|----------|-----------------------------|
| <b>T°</b> | 50                          | 51,50     | 55       | 58,50    | 60                          |
| <b>V</b>  | 2,2                         | 2,70      | 3,3      | 3,80     | 4,5                         |

**TABLA 3.** Puntos axiales, factores y punto central para Diseño Central Compuesto Rotacional para k=2.

| N° Tratamineto | T°    | V     | T(°C) | V (%) | T(°C) | V (%) | V(m/s) |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1              | -1,00 | -1,00 | 51,45 | 38,72 | 51,50 | 40,00 | 2,7    |
| 2              | 1,00  | -1,00 | 58,55 | 38,72 | 58,50 | 40,00 | 2,7    |
| 3              | -1,00 | 1,00  | 51,45 | 81,28 | 51,50 | 80,00 | 3,8    |
| 4              | 1,00  | 1,00  | 58,55 | 81,28 | 58,50 | 80,00 | 3,8    |
| 5              | 0,00  | -1,41 | 55    | 30    | 55,00 | 30,00 | 2,2    |
| 6              | 0,00  | 1,41  | 55    | 90    | 55,00 | 90,00 | 4,5    |
| 7              | -1,41 | 0,00  | 50    | 60    | 50,00 | 60,00 | 3,3    |
| 8              | 1,41  | 0,00  | 60    | 60    | 60,00 | 60,00 | 3,3    |
| 9              | 0,00  | 0,00  | 55    | 60    | 55,00 | 60,00 | 3,3    |
| 10             | 0,00  | 0,00  | 55    | 60    | 55,00 | 60,00 | 3,3    |
| 11             | 0,00  | 0,00  | 55    | 60    | 55,00 | 60,00 | 3,3    |

El diseño consta de punto axial mínimo ( $-\alpha$ ) punto factorial mínimo (-1) punto central (0) punto factorial máximo (+1) y punto axial mínimo ( $+\alpha$ ). Los puntos axiales son necesarios para cumplir con la rotabilidad del diseño propuesto.

Los valores sombreados corresponden a los valores utilizados en el experimento. Se aproximaron los valores de velocidad del aire de secado debido a las características de uso del equipo. Dicha aproximación no afectó significativamente el experimento.

Para evaluar el efecto de las condiciones de cada tratamiento sobre la respuesta de los parámetros estudiados se consideró un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ) y se utilizó el software Statistica 10.0 (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis Preliminares.

Para la selección del recubrimiento o pretratamiento se analizó el aspecto del AV recubierto con fécula de maíz, almidón de yuca y fécula de plátano luego del secado. Se seleccionó la fécula de plátano ya que se observó un menor pardeamiento y adherencia posterior al proceso de secado, mejorando así la apariencia del producto final. Los dos tratamientos restantes dejaban residuos considerables sobre el producto seco, generando dificultades en los análisis químicos además de una coloración intensa a violeta (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Comparación de coloración después del proceso de secado de los cristales AV.

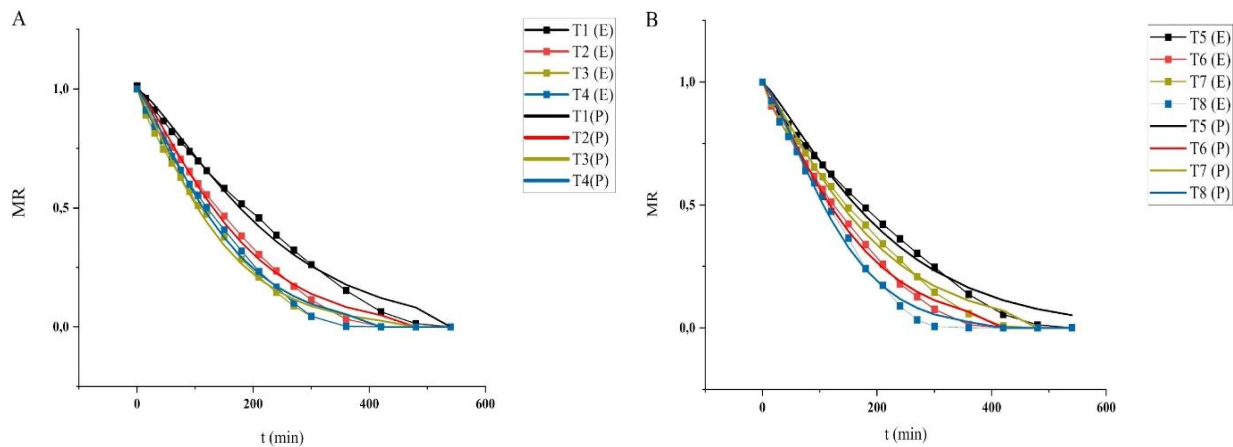
## Curvas de secado

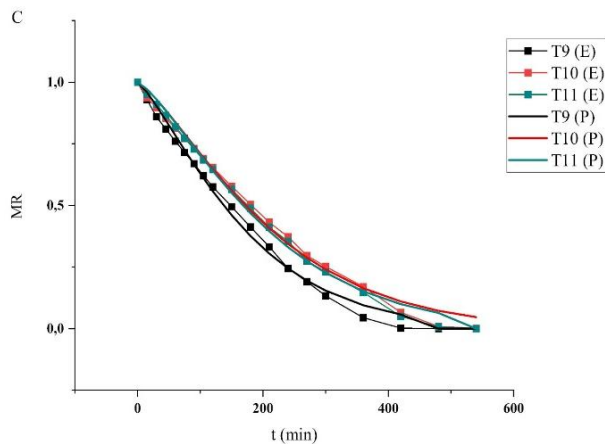
Los coeficientes del modelo de Page se observan en la tabla 4, estos valores se generaron por medio del programa estadístico Statistica ya que son constantes del modelo propios de cada tratamiento o condiciones en particular. A partir de ello se generaron los valores de razón de humedad (MR) predictivos, también generados por medio del programa. Teniendo en cuenta lo anterior, se construyeron las curvas de secado para cada tratamiento mostradas en las Figuras 3(A); 3(B) y 3(C) además del anexo 2.

**TABLA 4.** Valores de los coeficientes de la ecuación de Page y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) para los 11 tratamientos analizados de AV.

| Tratamientos | Coeficientes de Page |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|
|              | g                    | j     | $R^2$ |
| 1            | 0,0009               | 1,288 | 0,991 |
| 2            | 0,0015               | 1,260 | 0,992 |
| 3            | 0,0028               | 1,190 | 0,992 |
| 4            | 0,0018               | 1,254 | 0,992 |
| 5            | 0,0015               | 1,206 | 0,989 |
| 6            | 0,0017               | 1,300 | 0,992 |
| 7            | 0,0019               | 1,203 | 0,990 |
| 8            | 0,0011               | 1,378 | 0,992 |
| 9            | 0,0008               | 1,303 | 0,993 |
| 10           | 0,0009               | 1,299 | 0,992 |
| 11           | 0,0008               | 1,315 | 0,995 |

Las Figuras 3(A); 3(B); 3(C) corresponde a los puntos factoriales, axiales y centrales respectivamente del diseño experimental, en las cuales se muestran los datos experimental y predictivos a partir del modelo matemático de Page, el cual es el que mejor se ajusta al secado de AV según Vega, Uribe & Lemus (2007) quienes evaluaron cinco ecuaciones empíricas (Newton, Henderson-Pabis, Page, Page Modificado y Modelo difusional de Fick) en un intervalo de temperatura de 50 - 90 °C con un flujo de aire constante a  $2,0 \pm 0,2$  m/s.





**FIGURA 3.** Curva de secado experimental (E) y predictivos (P) ajustadas para el modelo de Page para AV puntos factoriales (A); puntos axiales (B); puntos centrales (C). Razón de humedad (MR) vs tiempo.

Los modelos matemáticos son herramientas utilizadas para estimar el tiempo necesario para reducir la humedad del producto en diferentes condiciones de secado mejorando la eficiencia del proceso (Tabar, 2011; Andrade, *et al.* 2003)

La tendencia que se evidencia en las Figuras 3(A); 3(B); 3(C) es exponencial decreciente a través del tiempo. Este tipo de tendencia también se evidenció en el estudio dirigido por Vega, Uribe & Lemus (2007) para datos experimentales y predictivos.

Los tratamientos 4 (58,5 °C; 3,8 m/s) 6 (55°C; 4,5 m/s) y 8 (60°C; 3,3 m/s) alcanzaron su humedad de equilibrio luego de 420 minutos de secado, por el contrario, los tratamientos 5 (55°C; 2,2 m/s) y 10 (55°C; 3,3 m/s) alcanzaron su humedad de equilibrio transcurridos 540 minutos de proceso de secado.

Se podría analizar de esto que subiendo la velocidad del aire en 2,2 m/s se podría alcanzar la humedad del equilibrio más rápido, específicamente en 120 minutos comparando las condiciones de secado del tratamiento 6 (55 °C; 4,5 m/s; 420 min) y 5 (55°C; 2,2 m/s; 540 min). En este sentido también se podría ahorrar 120 minutos en el proceso de secado si se aumenta la temperatura en 5°C comparando las condiciones de los tratamientos 8 (60°C; 3,3 m/s; 420 min) y 10 (55°C; 3,3 m/s; 540 min) para confirmar si es mejor acelerar el proceso de secado, se tendría que estudiar el impacto económico (considerando el consumo energético) de las condiciones propuestas en este artículo.

Se puede observar en la Figura 3(C) que el comportamiento de las curvas de secado son similares ya que corresponden a los tratamientos con las mismas condiciones operacionales, lo que permite afirmar que se tuvo un adecuado control en el proceso de secado.

### Análisis fisicoquímicos

ACTIVIDAD DE AGUA, PH Y ACIDEZ TITULABLE.



En la Tabla 5 se muestra los valores medios y la desviación estándar de  $a_w$ , pH y acidez titulable evaluados entre los tratamientos.

**TABLA 5.** Propiedades químicas del polvo de AV obtenido.

| Parámetro        | Media           | p-value  |
|------------------|-----------------|----------|
| $a_w$            | $0,37 \pm 0,01$ | $< 0,05$ |
| pH               | $4,79 \pm 0,02$ | $< 0,05$ |
| Acidez titulable | $0,13 \pm 0,01$ | $< 0,05$ |

Los valores de actividad de agua de los diferentes tratamientos tienen como resultado medio 0,38. Valores similares a los encontrados obtuvo Minjares-Fuentes, R et al. (2016) quienes estudiaron la actividad de agua en AV bajo diferentes tipos de secado, dando como resultado valores alrededor de 0,35. Este mismo autor también menciona que es seguro para el consumo cuando este se encuentra en el rango de 0,20 – 0,40.

Los valores de pH encontrados entre los tratamientos obtienen un valor medio de 4,79 unidades. Resultados similares obtuvieron Torres-Gómez, *et al.* (2020) y Hendrawati, T. Y. (2015) quienes analizaron la calidad de residuos de AV, así como las propiedades del polvo de AV sometido a diferentes temperaturas de secado. Según el Consejo Científico del Aloe o ASC por sus siglas en inglés, el intervalo de valor de pH permitido para consumo humano es de 3,5 – 6,0 unidades.

El ácido predominante en el AV según Estupiñán (2012) es el ácido ascórbico con un miliequivalente de 0,09 el cual tiene relación con el ácido cítrico y que a su vez es el estándar para la medición de vitamina C en alimentos. Contreras-Lozano, *et al.* (2019) estudiaron el efecto de las propiedades fisicoquímicas de bebidas a base de maíz después de la adición de AV como aditivo, y obtuvieron resultados de entre 0,1034 - 0,1340 % de acidez en sus tratamientos, resultados similares a los obtenidos en la presente investigación como se puede observar en la tabla 5.

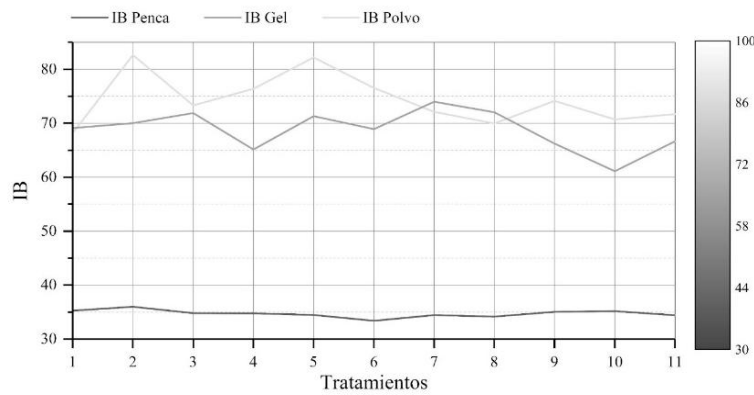
Los parámetros discutidos anteriormente no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) lo que indica que la temperatura y la velocidad del aire de secado no influyeron en el comportamiento de estos parámetros.

Los resultados de los valores muestran que en caso de posible consumo del producto analizado en este estudio es seguro para nuestro organismo, pues se encuentran dentro de los rangos establecidos por el Consejo Internacional de Ciencias del Aloe Vera (IASC).

## COLOR.

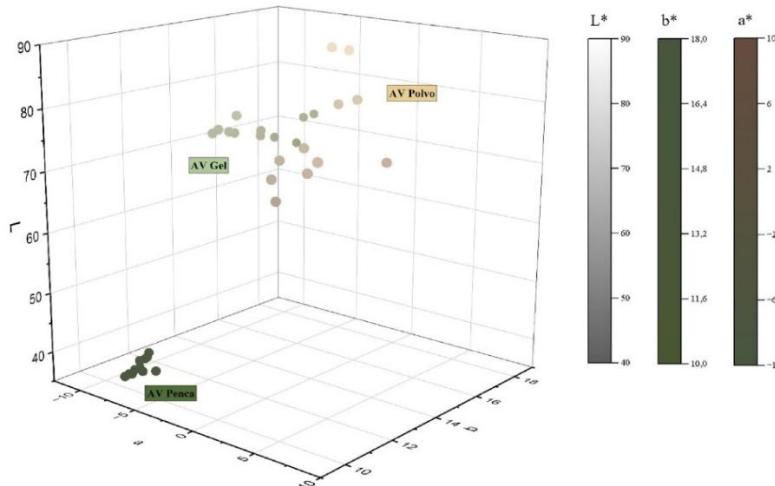
El índice de blancura (IB) según Ramírez-Navas, 2010 es un parámetro utilizado ampliamente en la industria textil, del papel y alimentaria el cual podría indicar la pureza de la matriz estudiada. Un valor de 100 indica una superficie blanca ideal. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos de IB para los 11 tratamientos estudiados en sus diferentes estados, penca, gel y polvo. El resultado final del proceso fue polvo de AV la cual fue procesado sin corteza y los resultados de IB del producto final se acercaron al blanco ideal estudiado por Ramírez-Navas posicionándose en el rango de 68,20 – 82,65 valor mínimo y máximo respectivamente, esto demuestra que el pretratamiento realizado con fécula de plátano fue efectivo para evitar el pardeamiento del producto

durante el proceso de secado, pues según Chang *et al.* (2006); Gulia, A. *et al.* (2010) informaron que el color de gel de AV cambiaba de blanquecino a amarillo o marrón durante un proceso térmico.



**FIGURA 4.** Índice de blancura de los tratamientos para AV en diferentes presentaciones, penca, gel y polvo.

La Figura 5 expone los valores de color de las muestras de AV en penca, gel y polvo. Las coordenadas CIELAB se ubicaron según los valores obtenidos en cada muestra para los tres estados del AV ya mencionados. El color de cada punto mostrado en el plano tridimensional corresponde al color experimental obtenido a través del colorímetro.



**FIGURA 5.** Coordenadas CIELab, ubicadas en plano tridimensional, correspondientes a AV en diferentes presentaciones, penca, gel y polvo.

El color en penca se encuentra ubicado en la zona inferior izquierda de la figura 5. El atributo  $L^*$  el valor máximo fue de 37,18 para T2 y el mínimo valor 35,02 para T6. En general, estos valores hacen referencia a poca luminosidad en las muestras estudiadas. La desviación estándar promedio entre tratamientos fue de  $\pm 1,44$ . Para el atributo  $a^*$  el valor máximo es de -7,49 para T1 y el mínimo de -9,84 para T2, como los valores son negativos estos tienden a tener color verde. La desviación estándar promedio entre tratamientos fue  $\pm 0,71$ . El atributo de color  $b^*$  obtuvo valor

máximo de 11,70 para T2 y valor mínimo de 10,22 para T3, como son valores positivos son tendientes al color amarillo. La desviación estándar entre tratamientos fue de  $\pm 0,99$ .

El color en gel se encuentra ubicado en la zona centroizquierda principalmente de la figura 5. Los atributos  $L^*$  y  $a^*$  el cual tiene como máximo valor 78,02 y -4,61 respectivamente para T7 y mínimo 66,93 y -9,27 respectivamente para T10. La luminosidad fue mucho más alta a comparación con este mismo parámetro en penca debido a la transparencia del producto. El atributo  $a^*$  continúa estando en valores negativos, proporcionando color tendiente al verde como se muestra en la figura 4. La desviación estándar media entre tratamientos fue de  $\pm 0,02$  para ambos atributos. La coordenada  $b^*$  tiene como valor máximo 18,25 para T9 y mínimo de 12,50 para T3, continúa con tendencia a color amarillo, su desviación estándar entre tratamiento fue de  $\pm 0,01$ .

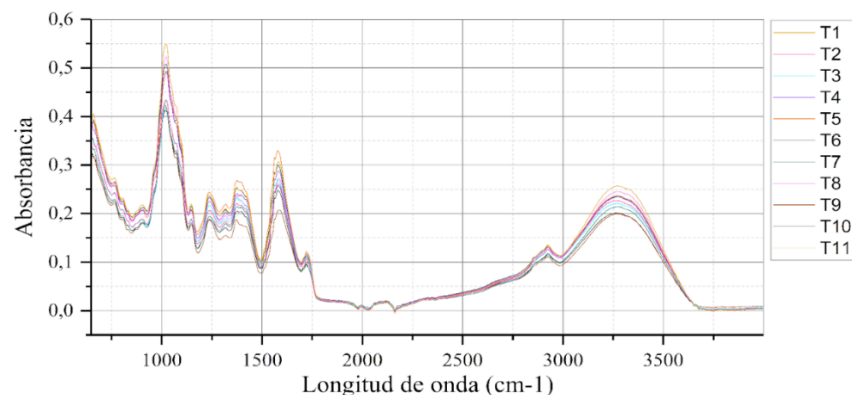
El AV en polvo obtuvo los valores más altos en luminancia, esto confirma que el manejo del pardeamiento durante el proceso de secado fue exitoso. Los atributos de color  $b^*$  continúa con tendencia al espacio de color amarillo, dando como resultados valores positivos, sin embargo, el atributo  $a^*$  para este estado del producto dio como resultado valores positivos los cuales corresponden a tonalidades rojas. Esto se puede apreciar en la diferencia de color mostrada en la Figura 5 entre los puntos ubicados en la parte superior del mismo.

Valores similares a los presentes en este estudio obtuvo Gulia, A. *et al.* (2010) quien estudió entre otras, el color en polvo de la hoja completa de AV teniendo como resultado para  $a^*$  y  $b^*$  valores positivos y  $L^*$  un rango de entre 43,82 - 59,30, estos últimos valores difieren a los resultados obtenidos en este estudio, sin embargo, esto se debe a que una matriz fue procesada con la corteza, es decir, la hoja completa de Av y la nuestra se procesó en cristal.

En el Anexo 1 se muestra detalladamente los valores específicos para cada coordenada y en cada tratamiento, junto con la desviación estándar correspondiente.

#### INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR.

En la Figura 6 se muestran los espectros generados por los 11 tratamientos (Tabla 1) estudiados y se analizaron en el rango de 4000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ . Se puede observar que el comportamiento de dichos espectros es similar; sin embargo, difieren en los niveles de absorbancia.



**FIGURA 6.** Espectro generado en FTIR para 11 tratamientos de AV en polvo.

Las bandas de baja intensidad en el rango de 3700 – 3000 cm<sup>-1</sup>, están asociados a grupos fenólicos basados en antraquinonas como la aloína y emodia (Bajer, D *et al.* 2020); dichas sustancias se encuentran en el acíbar (exudado de la hoja) de la planta de AV. Este rango espectral también expone estiramiento del grupo funcional hidroxilo (-OH) correspondiente a alcoholes, esto según Torres-Giner. S *et al.* (2017). En la Figura 6 se muestra que en este rango espectral el tratamiento 11 (55°C; 3,3 m/s) tiene un nivel de absorbancia mayor a los demás tratamientos, por el contrario, el tratamiento 1 (51,5°C; 2,7 m/s) tuvo el menor nivel de absorbancia.

El rango espectral de 2900 – 2850 cm<sup>-1</sup> se asocia según Torres-Giner. S *et al.* (2017) a la presencia del grupo alquilo (C-H) correspondiente a los compuestos de hidrocarburos; sin embargo, en el caso de AV es asociado con radicales alquilo, es decir, partes de compuestos mayores. Se puede observar que en las muestras estudiadas existe una excitación de dicho grupo indicado en un pico en medio de este rango, teniendo como resultado que nuevamente el tratamiento 11 obtiene mayores niveles de absorbancia.

Como se muestra en la Figura 6 se vuelve a tener vibración en las bandas presentando picos importantes en la gráfica en el rango de 1750 – 1400 cm<sup>-1</sup>, asociado principalmente a estiramiento del grupo carbonilo (C=O) de baja intensidad Torres-Giner. S *et al.* (2017); Barandozi & Enferadi, (2012); Moosa, A. A *et al.* (2016). Según Pozo, C., (2018) este rango también se encuentra asociado a agua estrechamente unida el cual se debe a la naturaleza higroscópica del producto, específicamente en el rango 1600 – 1400 cm<sup>-1</sup>. En la Figura 6 se puede evidenciar un cambio de comportamiento de los tratamientos estudiados puesto que el tratamiento con mayor nivel de absorbancia es el 6 (55°C; 4,5 m/s) y el menor registro lo obtuvo el tratamiento 9 (55°C; 3,3 m/s).

En la banda correspondiente al rango de 1400 – 1250 cm<sup>-1</sup> se atribuye la presencia del grupo funcional carboxilo (-COOH) también llamado ácidos carboxílicos como el ácido cinámico relacionado con las antraquinonas presentes en el AV (Domínguez, R *et al.*, 2012). Este rango además se relaciona con el grupo éster a quien se atribuye el olor en frutas, verduras y perfumes (Torres-Giner. S *et al.* 2017). Los tratamientos 6 y el 9 fueron los de mayor y menor nivel de absorbancia respectivamente, continuando con el mismo comportamiento generado en el rango de 1750 – 1400 cm<sup>-1</sup>.

Se considera que en la región espectral entre 900 – 1100 cm<sup>-1</sup> hay presencia de azúcares monosacáridos y polisacáridos como galactosa y glucano Bajer, D *et al.* (2020); Moosa, A. A *et al.* (2016). En este rango se presenta el pico más pronunciado en la Figura 6 y por su parte el tratamiento 11 y 8 (60°C; 3,3 m/s ) obtienen los valores mayores de absorbancia. Para Bajer, D *et al.* (2020) este intervalo también se podría atribuir a dificultades análogas de las lecturas debido a la naturaleza traslúcida del producto.

Cabe resaltar que los niveles de absorbancia mayores corresponden a mayor pronunciamiento o vibración del grupo funcional o componente de este, para determinado rango espectral. Los picos en la Figura 6 suponen alta presencia de los grupos funcionales nombrados anteriormente y las zonas bajas hacen referencia a la inexistencia o poca existencia de estos.

### **Análisis Microbiológico.**

Se analizó el AV a nivel microbiológico ya que por su alto contenido de agua es muy propenso al ataque de microorganismos que aceleran su descomposición y disminuyen la calidad del producto, además de que nos quita la posibilidad de ser utilizado y aprovechar sus componentes benéficos. Los análisis se realizaron para determinar la presencia de microorganismos en la materia prima. El producto en fresco (gel) no presentó crecimiento de enterobacterias ni microorganismos mesófilos en las muestras analizadas, pero sí se identificó presencia de un hongo. Posterior al proceso de secado se realizó el mismo análisis y se encontró presencia de diferentes microorganismos. Los resultados se describen a continuación:

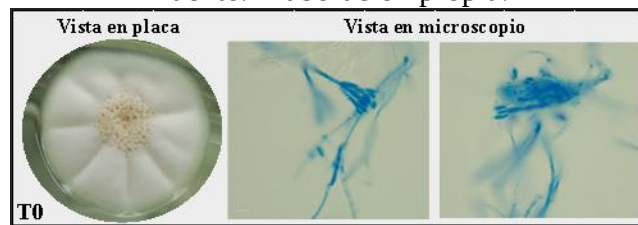
#### HONGOS.

Se encontró en el análisis microbiológico del AV en fresco, el crecimiento de un microorganismo en el medio utilizado para crecimiento de hongos y levaduras, YGC.

Según la estructura que se observa en el microscopio (Tabla 6), se trata de un *Penicillium*. Los penicilios son mohos comunes que se pueden desarrollar en diferentes productos. Este microorganismo es de gran importancia a nivel alimentario ya que, al estar presente en algún producto, causa deterioro de este y, además, produce toxinas (Carrillo, 2003). No se descarta la posibilidad de que podría tratarse de una contaminación ambiental y la espora del hongo pudo llegar al producto.

**TABLA 6.** Hongo incubado de una muestra de AV fresco.

Fuente: Elaboración propia.

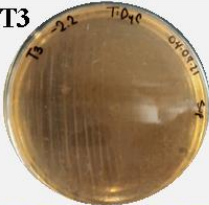
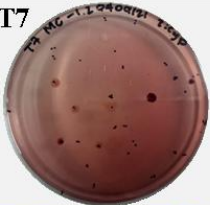
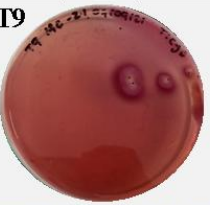
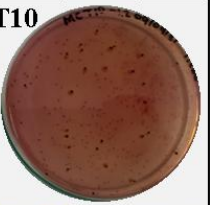
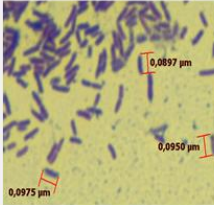
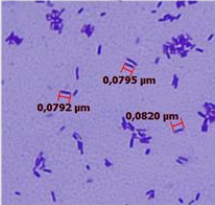
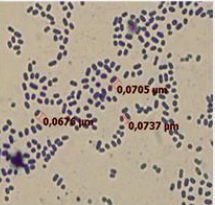
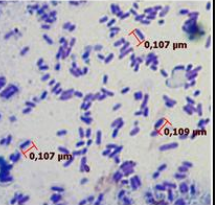


#### ENTEROBACTERIAS.

Como se observa en la Tabla 7, se encontró crecimiento de enterobacterias en medio agar *MacConckey*, en 4 de los 11 tratamientos evaluados. Este crecimiento se dió en colonias aisladas de color rosa fuerte o rojizo y al emerger del medio se aclaraban, terminando en un color rosa claro. El crecimiento en placa se encuentra dentro de los valores aceptables para AV, según el Consejo de Ciencias del Aloe (ASC, por sus siglas en inglés), quienes establecen que los valores permitidos de enterobacterias no debe sobrepasar las 10UFC/ml, condición que se cumple en todos los tratamientos.

**TABLA 7.** Tabla resumen análisis microbiológico de enterobacterias en AV.

Fuente: Elaboración propia.

|                                                       |       |                                                                                                |                                                                                                 |                                                                                                 |                                                                                                |
|-------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       |       | T3                                                                                             | T7                                                                                              | T9                                                                                              | T10                                                                                            |
| Vista en placa                                        |       |               |                |               |             |
| Vista en microscopio y dimensionamiento de la colonia |       |               |                |               |             |
| TSI                                                   | Datos |               |                |               |             |
|                                                       |       | <b>Viables cultivables (UFC)</b><br>$4,6 \pm 0,43$<br><b>(µm)</b><br>0,09<br><b>Catalasa +</b> | <b>Viables cultivables (UFC)</b><br>$3,58 \pm 0,12$<br><b>(µm)</b><br>0,08<br><b>Catalasa +</b> | <b>Viables cultivables (UFC)</b><br>$4,63 \pm 0,21$<br><b>(µm)</b><br>0,07<br><b>Catalasa +</b> | <b>Viables cultivables (UFC)</b><br>$5,0 \pm 0,62$<br><b>(µm)</b><br>0,11<br><b>Catalasa +</b> |

## MORFOLOGÍA.

El agar *MacConkey* es un medio que aísla y permite la diferenciación de los bacilos Gram negativos fermentadores y no fermentadores de la lactosa. Cuando hay un microorganismo fermentador de la lactosa el pH baja y el color del medio presenta un cambio. Como en el caso de los tratamientos 3, 7, 9 y 10 en donde se presentó un cambio de color alrededor de la colonia que emergió en el medio, estas colonias son de color rosa a rojizo, razón por la cual se confirma que los microorganismos que tuvieron crecimiento fermentan la lactosa (Tabla 7).

En la observación en microscopio se identificaron microorganismos bacilares con bordes lisos, con diferentes dimensiones que van desde los 0,0706 µm hasta los 0,107 µm (Tabla 7).

## TRIPLE SUGAR IRON (TSI).

Para enterobacterias se confirma con el agar Triple Sugar Iron (TSI) que el microorganismo del tratamiento 1 fermenta la glucosa, por el cambio de color en la base y no en la parte inclinada del medio, produce gas, razón por la cual el medio está dividido y ha ascendido, y además se presenta un precipitado negro sobre la parte inclinada del medio lo que traduce a producción de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). Por otro lado, el tratamiento 7 presentó una ligera reacción ácida en el centro del tubo, con un color amarillo muy suave, lo que significa que este microorganismo fermenta únicamente la glucosa. Para el tratamiento 9 se confirma que este microorganismo fermenta la glucosa, lactosa y sacarosa, ya que todo el agar TSI viró de color rojo a amarillo, y además de eso, se presentó producción de gas. Por último, en el tratamiento 10 se evidenció fermentación de la glucosa como en el tratamiento 3, pero sin producción de gas ni de ácido sulfhídrico (Tabla 7).

## CATALASA



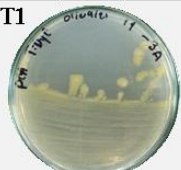
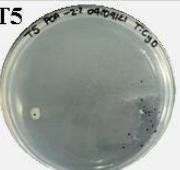
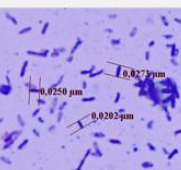
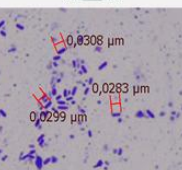
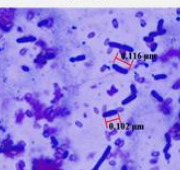
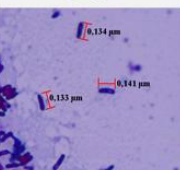
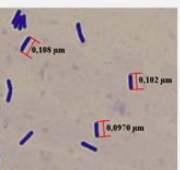
La catalasa es una enzima que descompone el peróxido de oxígeno ( $H_2O_2$ ) en oxígeno y agua. (Enríquez, Viera, & Mendoza, 2010). Se le realizó la prueba de catalasa a los cultivos aislados y se obtuvo que todos son catalasa positiva (+), es decir, todos los microorganismos encontrados y evaluados, tienen la capacidad de descomponer el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en agua y oxígeno, formando burbujas al contacto de las células con esta sustancia.

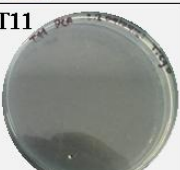
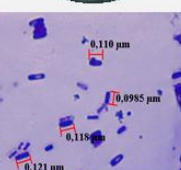
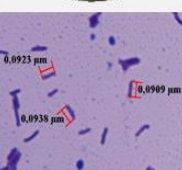
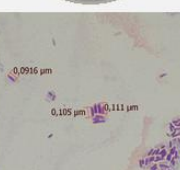
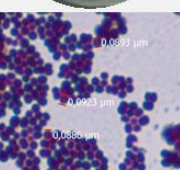
## MESÓFILOS

Se evidenció crecimiento de microorganismos mesófilos en el medio *Agar Plate Count* en todos los tratamientos excepto el tratamiento 2 y 8, que presentaron condiciones de secado en las temperaturas más altas: 58,5°C y 60°C respectivamente. Las colonias aisladas en agar *Plate Count* emergieron a la superficie en forma de círculos pequeños y medianos y en formaciones indefinidas, también se observó el crecimiento de una especie de nata de color blanco que matificaba toda la superficie del medio (Tabla 8).

**TABLA 8.** Tabla resumen análisis microbiológico para mesófilos en AV.

Fuente: Elaboración propia.

|                                                       |       |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       |       | T1                                                                                                                                                           | T3                                                                                                                                                          | T4                                                                                                                                                          | T5                                                                                                                                                            | T6                                                                                                                                                            |
| Vista en placa                                        |       |                                                                             |                                                                            |                                                                           |                                                                            |                                                                            |
| Vista en microscopio y dimensionamiento de la colonia |       |                                                                            |                                                                           |                                                                          |                                                                           |                                                                           |
| TSI                                                   | Datos | <br>Viables cultivables (UFC)<br>5,1 ± 0,26<br>(µm)<br>0.02<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>4,0 ± 0,0<br>(µm)<br>0.03<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>2,0 ± 0,0<br>(µm)<br>0.11<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>3,3 ± 0,0<br>(µm)<br>0.14<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>2,7 ± 0,0<br>(µm)<br>0.10<br>Catalasa + |

|                                                       |       |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       |       | T7                                                                                                                                                           | T9                                                                                                                                                           | T10                                                                                                                                                         | T11                                                                                                                                                           |
| Vista en placa                                        |       |                                                                           |                                                                           |                                                                         |                                                                          |
| Vista en microscopio y dimensionamiento de la colonia |       |                                                                           |                                                                           |                                                                         |                                                                          |
| TSI                                                   | Datos | <br>Viables cultivables (UFC)<br>4,2 ± 0,21<br>(µm)<br>0.11<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>3,5 ± 0,21<br>(µm)<br>0.09<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>4,8 ± 0,0<br>(µm)<br>0.10<br>Catalasa + | <br>Viables cultivables (UFC)<br>3,0 ± 0,0<br>(µm)<br>0.09<br>Catalasa + |

## MORFOLOGÍA

El agar *Plate Count* es un medio de cultivo para el conteo de los microorganismos presentes en una muestra. En las muestras de AV analizadas se pudo encontrar un valor promedio de 3.6 UFC/ml.

La observación bajo microscopio permitió la identificación de microorganismos de forma bacilar muy similar entre tratamientos, que miden desde los 0,09  $\mu\text{m}$  hasta los 0,13  $\mu\text{m}$ , como se puede notar en la Tabla 7.

## TSI

Para TSI, el tratamiento 1 y 2 presentó cambio de color en la base del tubo virando de rojo a amarillo, pero en la zona inclinada del tubo el color rojo se mantuvo, lo que traduce en que estos microorganismos fermentan únicamente la glucosa y además se presentó producción de gas dentro del tubo.

Para los tratamientos 4, 7, 9 y 10 se dio el mismo caso, se presentó acidificación del medio en la base del tubo, lo que nos refiere a microorganismos fermentadores de la glucosa como en los tratamientos 1 y 2, pero con la diferencia de que estos últimos no producen gas.

Los tratamientos 5, 6 y 11 presentaron un cambio similar, en el cual se acidificó la parte inclinada del medio, lo que refiere una fermentación de lactosa y sacarosa, permaneciendo en la base del tubo el color inicial del medio.

Otra observación clave fue que en algunos tubos también se presentó crecimiento de una capa similar a una nata, en la superficie inclinada del medio, como lo fue en el caso de los tratamientos 6 y 7, que desde el crecimiento en placa presentaron esta misma característica (Tabla 8).

## CATALASA

Para todos los tratamientos se observó que los microorganismos reaccionaron a catalasa positivo (+), es decir, descomponen el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno.

## CONCLUSIONES

Los modelos de difusividad no se ajustaron a la matriz utilizada, es por ello que se optó por aplicar el modelo matemático de Page para la construcción de curvas de secado en AV dando como resultado curvas exponenciales decrecientes y evidenciando un comportamiento muy similar entre tratamientos y por tanto, sin diferencias estadísticamente significativos.

La acidez titulable, el pH y la actividad de agua estuvieron en un rango medio de 0,13; 4,79 y 0,37 respectivamente, estos resultados son aceptados en caso de posible consumo humano del producto. El pretratamiento aplicado a los cristales tuvo un resultado positivo, evitando el pardeamiento de las muestras (rango de 68,20 – 82,65) y acercando las mismas a una superficie blanco ideal (100) evaluado por medio de índice de blancura. Los análisis de FTIR demostró la presencia de contenido de compuestos fenólicos y grupos funcionales de hidroxilo y carboxilo en donde se encuentran



antraquinonas como aloína y emodina y también presencia de ácido ascórbico, mismos compuestos encontrados en AV en fresco.

A nivel microbiológico se determinó la presencia de microorganismos en el producto. En el AV fresco solo se encontró presencia de un hongo. En el AV seco se encontró presencia de microorganismos mesófilos y enterobacterias, en cantidades permitidas para el consumo del producto.

Las variables utilizadas en el diseño experimental no influyeron en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, es decir, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los 11 tratamientos evaluados lo que indica que el AV soporta el rango de temperatura de 50 - 60 °C y la velocidad del aire secado de 2,2 - 4,5 m/s sin modificar significativamente sus propiedades químicas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Universidad Surcolombiana y al Centro Surcolombiano de Investigación en Café - CESURCAFÉ por permitirnos desarrollar las actividades de investigación en sus instalaciones, a nuestras directoras y al Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia por el asesoramiento y apoyo en el desarrollo de este proyecto de grado, y al establecimiento comercial “La Placita” ubicado en la ciudad de Neiva por la generosa donación de la materia prima.

## **REFERENCIAS**

Artunduaga, K., Vargas, D., & Barrera, O., 2021. Conservación de las propiedades nutraceuticas del Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller), mediante técnicas de secado. *Revista Ingeniería y Región*. Vol. 25. Pg 6-21 , DOI: 10.25054/22161325.2818.

Aspurz Tabar, J. (2011). Obtención de curvas de secado de tomillo (*Thymus vulgaris*). MINA GERAIS, BRASIL.

Bajer, D., Janczak, K., & Bajer, K. (2020). Novel starch/chitosan/aloe vera composites as promising biopackaging materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(3), 1021-1039. DOI: 10.1007/s10924-020-01661-7.

Carrascal, F., 2020. Nuevas tecnologías para el cultivo de Aloe vera y su potencial agroindustrial en Colombia. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - Ingeniería Agronómica.

Contreras-Lozano, K.P.; Ciro-Velásquez, H.J.; Arango-Tobón, J.C. 2019. Hidrocoloides como estabilizantes en bebidas de maíz dulce (*Zea mays* var. *Saccharata*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). *Revista. U.D.C.A Actualidad & Divulgación. Científica*. Volumen 22 No.2:e1090. DOI: 10.31910/rudca.v22.n2.2019.1090

Domínguez, R., Arzate, I., Chanona, J., Welti, J., Alvarado, J., G, C., . . . Gutiérrez, G., 2012. Aloe vera gel: structure, chemical composition, processing, biological activity and importance in pharmaceutical and food industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 11. N° 1., 23-43.

Estupiñán, C. A. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácido ascórbico del mucílago de Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller.), entre diferentes cultivos del departamento de Risaralda, Colombia. Por cromatografía líquida de alta eficiencia (Clae).. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21801>.

Fardsadegh, B., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2019). Aloe vera leaf extract mediated green synthesis of selenium nanoparticles and assessment of their in vitro antimicrobial activity against spoilage fungi and pathogenic bacteria strains. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 399-407. DOI: 10.1515/GPS-2019-0007.

Gulia, A., Sharma, H. K., Sarkar, B. C., Upadhyay, A., & Shitandi, A. (2010). Changes in physico-chemical and functional properties during convective drying of aloe vera (Aloe barbadensis) leaves. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 161-164. DOI: 10.1016/j.fbp.2009.09.001

Hendrawati, T. Y. (2015, January). Aloe vera powder properties produced from aloe chinensis baker, Pontianak, Indonesia. In *Journal of Engineering Science and Technology Special Issue on SOMCHE 2014 & RSCE 2014 Conference* (pp. 47-59).

Mejía, A., 2011. Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe vera (Aloe barbadensis). Chía, Cundinamarca: Universidad de la Sabana.

MINAGRICULTURA. (2018). Cadena de Sábila/Aloe vera. Indicadores e instrumentos.

Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Comas-Serra, F., Rosselló, C., Rodríguez-González, V. M., González-Laredo, R. F., ... & Medina-Torres, L. (2016). Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel. *LWT*, 74, 378-386. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.07.060

Minjares, R., Femenia, A., Comas, F., Rosselló, C., Rodríguez, V., Gonzalez, R., . . . Medina, L., 2016. Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel. *Food and Science Technology*. 74, 378-386. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.07.060.

Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., & Vega, A., 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller) gel. *Journal of Food Engineering* (91), 297-304. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007.

Miranda, M., Vega, A., García, P., Di Scala, K., Shi, J., Xue, S., & Uribe, E., 2010. Effect of temperature on structural properties of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel and Weibull distribution for modeling drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 138-144. DOI: 10.1016/j.fbp.2009.06.001.

Mohd Nizam, N., Mohammad Rawi, N., Mhd Ramle, S., Abd Aziz, A., Abdullah, C., Rashedi, A., & Mohamad Kassim, M., 2021. Physical, thermal, mechanical, antimicrobial and physicochemical properties of starch based film containing aloe vera: a review. *Journal of Materials Research and Technology*. 15, 1572-1589. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.08.138.

Moosa, A. A., Ridha, A. M., & Hussien, N. A. (2016). Removal of zinc ions from aqueous solution by bioadsorbents and CNTs. *American Journal of Materials Science*, 6(4), 105-114. DOI: 10.5923/j.materials.20160604.04.

Pozo, C., Rodríguez-Llamazares, S., Bouza, R., Barral, L., Castaño, J., Müller, N., & Restrepo, I. (2018). Study of the structural order of native starch granules using combined FTIR and XRD analysis. *Journal of Polymer Research*, 25(12), 1-8. DOI: 10.1007/s10965-018-1651-y.

Ramirez-Navas. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología láctica latinoamericana* N°61. Pag 54-58.

Ray, A., Gupta, D., Ghosh, S., Aswatha, S., & Kabi, B., 2013. Chemometric studies on mineral distribution and microstructure analysis of freeze-dried Aloe vera L. gel at different harvesting regimens. *Industrial Crops and Products*. 51, 194-201. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.08.080.

Reyes, D., & Fernández, R., 2014. Actividad antimicrobiana in vitro del extracto foliar de zabila (Aloe vera L.) en microorganismos de interés clínico. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Carabobo*. Vol.18 N°3, 27-32.

Reynolds, T., 2004. Aloes: The Genus Aloe. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles. Boca Raton, Florida. CPR Press LLC: DOI:10.1201./9780203476345.

Robledo, J., Valencia, J., & Hincapié, W., 2017. Growth of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) basal shoots in companion planting systems. *Agronomía Colombiana*. 35(2). Pg 190-197, DOI: 10.15446/agron.colomb.v35n2.62653.

Salgado, S., & Agudelo, H., 2019. Evaluación Agronómica de la adaptación, producción y reproducción de Aloe barbadensis bajo 4 tratamientos y 3 condiciones de cultivo en el municipio de Turbo - Antioquia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) - Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - Ingeniería Agroforestal*.

Serrano, L., 2017. Efecto del extracto de gel liofilizado de Aloe vera sobre *Listeria monocytogenes* en la elaboración de queso campesino. Bogotá: Universidad de La Salle - Ingeniería de Alimentos.

Torres-Giner, S., Wilkanowicz, S., Melendez-Rodriguez, B., & Lagaron, J. M. (2017). Nanoencapsulation of Aloe vera in synthetic and naturally occurring polymers by electrohydrodynamic processing of interest in food technology and bioactive packaging. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(22), 4439-4448. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b01393.

Torres-Gómez, Guillermo Andrés; Marulanda-Raigoso, Johan Sebastián; Villa-Ramírez, Rigoberto (2020) Descripción de la calidad fisicoquímica de los residuos de sábila (*Aloe Vera*) (L.) Burm. f. Revista de investigaciones Universidad del Quindío, vol. 32(1), pp. 16-21. DOI: 10.33975/riuq.vol32nl.271.

Vargas, I., & María, N., 2019. Caracterización del manejo agronómico del cultivo de sábila (*Aloe barbadensis* M.) en el municipio de Paz de Ariporo del departamento de Casanare. Yopal: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

Vega, A., Uribe, E., Perez, M., Tabilo, G., Vergara, J., García, P., . . . Di Scala, K., 2011. Effect of high hydrostatic pressure pretreatment on drying kinetics, antioxidant activity, firmness and microstructure of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. Food Science and Technology. 44, 384-391. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.08.004.

Vega, A., Uribe, E., Lemus, R., Miranda, M., 2007. Hot-air drying characteristics of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and influence of temperature on kinetic parameters, LWT - Food Science and Technology. Volume 40, Issue 10, 2007. Pages 1698-1707, ISSN 0023-6438. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.01.001.

## ANEXOS

### Anexo 1.

**TABLA 9.** Coordenadas CIELAB para la penca de Aloe Vera (Aloe Barbadensis), Croma (C\*) y Tono (h °) para todos los tratamientos.

| Tratamiento | Polvo |        |      |        |       |        |       |       |
|-------------|-------|--------|------|--------|-------|--------|-------|-------|
|             | L*    |        | a*   |        | b*    |        | C*    | h (°) |
| 1           | 69,27 | ± 0,81 | 2,46 | ± 0,38 | 11,16 | ± 1,53 | 11,43 | 77,55 |
| 2           | 89,90 | ± 1,16 | 1,44 | ± 0,61 | 14,03 | ± 0,13 | 14,11 | 84,13 |
| 3           | 76,41 | ± 1,95 | 2,69 | ± 0,48 | 12,19 | ± 0,43 | 12,48 | 77,54 |
| 4           | 81,16 | ± 1,51 | 1,89 | ± 1,01 | 14,10 | ± 0,59 | 14,22 | 82,38 |
| 5           | 89,58 | ± 1,56 | 2,46 | ± 0,46 | 14,22 | ± 0,91 | 14,43 | 80,17 |
| 6           | 81,77 | ± 1,82 | 2,66 | ± 0,47 | 14,50 | ± 0,99 | 14,74 | 79,62 |
| 7           | 74,91 | ± 0,58 | 5,30 | ± 1,52 | 10,94 | ± 0,41 | 12,16 | 64,17 |
| 8           | 74,03 | ± 1,42 | 6,30 | ± 0,35 | 13,73 | ± 0,21 | 15,10 | 65,36 |
| 9           | 77,38 | ± 0,44 | 6,61 | ± 1,32 | 10,64 | ± 0,50 | 12,52 | 58,13 |
| 10          | 72,94 | ± 0,51 | 2,60 | ± 0,38 | 10,92 | ± 0,01 | 11,22 | 76,60 |
| 11          | 74,35 | ± 0,02 | 1,39 | ± 0,01 | 11,87 | ± 0,15 | 11,95 | 83,30 |

**TABLA 10.** Coordenadas CIELAB para gel de Aloe Vera (Aloe Barbadensis), Croma (C\*) y Tono (h °) para todos los tratamientos.

| Tratamiento | Penca |        |       |        |       |        |       |        |
|-------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|             | L*    |        | a*    |        | b*    |        | C*    | h (°)  |
| 1           | 36,65 | ± 1,45 | -7,49 | ± 0,21 | 10,95 | ± 0,17 | 13,27 | 124,35 |
| 2           | 37,18 | ± 0,60 | -9,84 | ± 0,24 | 11,70 | ± 0,32 | 15,29 | 130,06 |
| 3           | 36,19 | ± 2,46 | -8,66 | ± 1,27 | 10,22 | ± 1,63 | 13,40 | 130,30 |
| 4           | 36,54 | ± 1,04 | -9,70 | ± 0,57 | 11,48 | ± 1,03 | 15,03 | 130,19 |
| 5           | 36,06 | ± 0,83 | -9,16 | ± 0,40 | 11,03 | ± 0,74 | 14,34 | 129,71 |
| 6           | 35,02 | ± 2,00 | -9,30 | ± 1,39 | 11,20 | ± 1,78 | 14,56 | 129,69 |
| 7           | 36,01 | ± 0,79 | -9,18 | ± 0,62 | 10,84 | ± 0,75 | 14,20 | 130,28 |
| 8           | 35,68 | ± 1,29 | -9,17 | ± 0,92 | 10,60 | ± 1,19 | 14,01 | 130,86 |
| 9           | 36,81 | ± 1,33 | -9,64 | ± 0,24 | 11,54 | ± 0,71 | 15,04 | 129,86 |
| 10          | 36,86 | ± 1,92 | -9,50 | ± 0,84 | 11,17 | ± 1,24 | 14,66 | 130,37 |
| 11          | 35,89 | ± 2,14 | -8,87 | ± 1,12 | 10,58 | ± 1,36 | 13,81 | 129,96 |

**TABLA 11.** Coordenadas CIELAB para polvo de Aloe Vera (Aloe Barbadensis), Croma (C\*) y Tono (h °) para todos los tratamientos.

| Tratamiento | Gel   |        |       |        |       |        |       |        |
|-------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|             | L*    |        | a*    |        | b*    |        | C*    | h (°)  |
| 1           | 73,23 | ± 0,04 | -5,29 | ± 0,01 | 14,48 | ± 0,03 | 15,41 | 110,07 |
| 2           | 74,07 | ± 0,01 | -6,13 | ± 0,01 | 13,75 | ± 0,01 | 15,06 | 114,01 |
| 3           | 75,42 | ± 0,06 | -5,42 | ± 0,02 | 12,50 | ± 0,01 | 13,62 | 113,45 |
| 4           | 70,23 | ± 0,05 | -7,79 | ± 0,01 | 16,38 | ± 0,01 | 18,14 | 115,43 |
| 5           | 75,09 | ± 0,03 | -5,36 | ± 0,01 | 13,15 | ± 0,02 | 14,20 | 112,17 |
| 6           | 73,40 | ± 0,04 | -6,08 | ± 0,07 | 14,90 | ± 0,01 | 16,09 | 112,21 |
| 7           | 78,02 | ± 0,01 | -4,61 | ± 0,01 | 13,11 | ± 0,00 | 13,90 | 109,36 |
| 8           | 75,74 | ± 0,01 | -5,50 | ± 0,02 | 12,78 | ± 0,01 | 13,91 | 113,28 |
| 9           | 72,65 | ± 0,01 | -7,73 | ± 0,01 | 18,25 | ± 0,01 | 19,82 | 112,95 |
| 10          | 66,93 | ± 0,01 | -9,27 | ± 0,02 | 18,21 | ± 0,01 | 20,44 | 116,97 |
| 11          | 72,70 | ± 0,01 | -7,50 | ± 0,02 | 17,62 | ± 0,01 | 19,15 | 113,07 |

## Anexo 2.

**TABLA 12.** Valores de razón de humedad (MR) predictivos y experimentales para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 para la construcción de curvas de secado.

| MR T1        |            | MR T2        |            | MR T3        |            | MR T4        |            |
|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo |
| 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     |
| 0,9607       | 0,9716     | 0,9134       | 0,9556     | 0,8903       | 0,9332     | 0,9102       | 0,9468     |
| 0,9107       | 0,9320     | 0,8598       | 0,8970     | 0,8144       | 0,8541     | 0,8429       | 0,8777     |
| 0,8657       | 0,8880     | 0,8072       | 0,8344     | 0,7473       | 0,7746     | 0,7827       | 0,8051     |
| 0,8208       | 0,8420     | 0,7554       | 0,7709     | 0,6877       | 0,6979     | 0,7164       | 0,7327     |
| 0,7779       | 0,7951     | 0,7045       | 0,7085     | 0,6282       | 0,6256     | 0,6579       | 0,6628     |
| 0,7371       | 0,7483     | 0,6528       | 0,6482     | 0,5688       | 0,5584     | 0,6001       | 0,5963     |
| 0,6972       | 0,7021     | 0,6011       | 0,5907     | 0,5106       | 0,4966     | 0,5533       | 0,5341     |
| 0,6564       | 0,6571     | 0,5553       | 0,5364     | 0,4735       | 0,4402     | 0,5018       | 0,4764     |
| 0,5829       | 0,5713     | 0,4653       | 0,4382     | 0,3773       | 0,3430     | 0,4083       | 0,3750     |
| 0,5173       | 0,4926     | 0,3820       | 0,3542     | 0,2848       | 0,2647     | 0,3195       | 0,2915     |
| 0,4578       | 0,4217     | 0,3046       | 0,2835     | 0,2098       | 0,2025     | 0,2331       | 0,2242     |
| 0,3855       | 0,3586     | 0,2354       | 0,2251     | 0,1447       | 0,1538     | 0,1675       | 0,1707     |
| 0,3222       | 0,3032     | 0,1703       | 0,1773     | 0,0882       | 0,1161     | 0,1004       | 0,1288     |
| 0,2620       | 0,2549     | 0,1135       | 0,1387     | 0,0441       | 0,0871     | 0,0449       | 0,0965     |
| 0,1525       | 0,1775     | 0,0324       | 0,0833     | 0,0024       | 0,0482     | 0,0023       | 0,0529     |
| 0,0639       | 0,1214     | 0,0016       | 0,0489     | 0,0012       | 0,0262     | -            | -          |
| 0,0138       | 0,0818     | -            | -          | -            | -          | -            | -          |

**TABLA 13.** Valores de razón de humedad (MR) predictivos y experimentales para los tratamientos 5, 6, 7 y 8 para la construcción de curvas de secado.

| MR T5        |            | MR T6        |            | MR T7        |            | MR T8        |            |
|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo |
| 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     |
| 0,9238       | 0,9615     | 0,9033       | 0,9459     | 0,9151       | 0,9530     | 0,9249       | 0,9543     |
| 0,8736       | 0,9134     | 0,8402       | 0,8781     | 0,8495       | 0,8950     | 0,8385       | 0,8854     |
| 0,8279       | 0,8627     | 0,7818       | 0,8076     | 0,8066       | 0,8347     | 0,7784       | 0,8084     |
| 0,7831       | 0,8115     | 0,7235       | 0,7379     | 0,7592       | 0,7746     | 0,7167       | 0,7289     |
| 0,7406       | 0,7607     | 0,6692       | 0,6706     | 0,7119       | 0,7160     | 0,6394       | 0,6505     |
| 0,7012       | 0,7113     | 0,6164       | 0,6068     | 0,6544       | 0,6597     | 0,5908       | 0,5753     |
| 0,6633       | 0,6634     | 0,5638       | 0,5469     | 0,6150       | 0,6061     | 0,5353       | 0,5047     |
| 0,6254       | 0,6175     | 0,5119       | 0,4913     | 0,5757       | 0,5554     | 0,4747       | 0,4396     |
| 0,5535       | 0,5321     | 0,4230       | 0,3929     | 0,4881       | 0,4634     | 0,3657       | 0,3270     |
| 0,4885       | 0,4556     | 0,3381       | 0,3109     | 0,4186       | 0,3838     | 0,2415       | 0,2377     |
| 0,4221       | 0,3880     | 0,2588       | 0,2439     | 0,3424       | 0,3157     | 0,1735       | 0,1692     |
| 0,3626       | 0,3289     | 0,1788       | 0,1898     | 0,2776       | 0,2582     | 0,0893       | 0,1181     |
| 0,3039       | 0,2775     | 0,1273       | 0,1466     | 0,2083       | 0,2102     | 0,0326       | 0,0811     |
| 0,2474       | 0,2333     | 0,0759       | 0,1125     | 0,1447       | 0,1702     | 0,0060       | 0,0548     |
| 0,1363       | 0,1631     | 0,0130       | 0,0651     | 0,0578       | 0,1102     | 0,0009       | 0,0239     |
| 0,0554       | 0,1126     | -            | -          | 0,0089       | 0,0703     | -            | -          |
| 0,0127       | 0,0769     | -            | -          | -            | -          | -            | -          |
| 0,0007       | 0,0520     | -            | -          | -            | -          | -            | -          |

**TABLA 14.** Valores de razón de humedad (MR) predictivos y experimentales para los tratamientos 9, 10 y 11 para la construcción de curvas de secado.

| MR T9        |            | MR T10       |            | MR T11       |            |
|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo | Experimental | Predictivo |
| 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     | 1,0000       | 1,0000     |
| 0,9293       | 0,9592     | 0,9377       | 0,9713     | 0,9511       | 0,9715     |
| 0,8597       | 0,9044     | 0,8973       | 0,9309     | 0,9103       | 0,9306     |
| 0,8103       | 0,8453     | 0,8546       | 0,8858     | 0,8660       | 0,8846     |
| 0,7610       | 0,7849     | 0,8143       | 0,8384     | 0,8190       | 0,8361     |
| 0,7148       | 0,7250     | 0,7718       | 0,7902     | 0,7730       | 0,7866     |
| 0,6695       | 0,6668     | 0,7315       | 0,7420     | 0,7288       | 0,7371     |
| 0,6204       | 0,6109     | 0,6902       | 0,6945     | 0,6846       | 0,6883     |
| 0,5752       | 0,5577     | 0,6534       | 0,6481     | 0,6459       | 0,6407     |
| 0,4951       | 0,4607     | 0,5778       | 0,5602     | 0,5649       | 0,5505     |
| 0,4131       | 0,3765     | 0,5045       | 0,4798     | 0,4886       | 0,4683     |
| 0,3322       | 0,3048     | 0,4313       | 0,4078     | 0,4115       | 0,3950     |
| 0,2445       | 0,2447     | 0,3730       | 0,3440     | 0,3542       | 0,3305     |
| 0,1907       | 0,1950     | 0,2966       | 0,2884     | 0,2745       | 0,2745     |
| 0,1330       | 0,1543     | 0,2522       | 0,2403     | 0,2308       | 0,2266     |
| 0,0446       | 0,0949     | 0,1703       | 0,1642     | 0,1469       | 0,1516     |
| 0,0020       | 0,0570     | 0,0658       | 0,1100     | 0,0498       | 0,0992     |
| -            | -          | 0,0091       | 0,0724     | 0,0071       | 0,0637     |
| -            | -          | 0,0011       | 0,0469     | -            | -          |