



Neiva, 16 - junio - 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad: Pitalito

El (Los) suscrito(s):

Erlendy Arnulfo Valenzuela Martínez con C.C. No. 1084900268

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado EFECTO DEL COLOR EN LA CUBIERTA PLÁSTICA DEL SECADOR SOLAR PARABÓLICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ (Coffea arabicaL.) VARIEDAD CENICAFÉ 1 presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Autorizo (amos) 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.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

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:

Erlendy Arnulfo Valenzuela Martínez

Firma:



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** EFECTO DEL COLOR EN LA CUBIERTA PLÁSTICA DEL SECADOR SOLAR PARABÓLICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ (Coffea arabicaL.) VARIEDAD CENICAFÉ 1.

**AUTOR O AUTORES:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Valenzuela Martínez        | Erlendy Arnulfo          |

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Aragón Calderón            | Renso Alfredo            |
| Martínez Castro            | Victor Manuel            |

**ASESOR (ES):**

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

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Agrícola

**CIUDAD:** Pitalito      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 33

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



**DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO**

|               |                     |                |          |                 |             |               |               |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| <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> |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

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

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

| <u>Español</u>               | <u>Inglés</u>           | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 1. Perfil sensorial          | sensory profile         | 6. _____       | _____         |
| 2. Puntaje SCA               | SCA score               | 7. _____       | _____         |
| 3. Luz solar                 | sunlight                | 8. _____       | _____         |
| 4. Cubierta plástica         | plastic cover           | 9. _____       | _____         |
| 5. Parámetros colorimétricos | colorimetric parameters | 10. _____      | _____         |

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

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la cubierta plástica del secador solar parabólico sobre la calidad física y sensorial del café variedad Cenicafé 1. Se instalaron tres secadores con diferente color de cubierta: amarillo verdoso (SAV), transparente y azul (SA). Se determinó la curva de secado, y se midieron las condiciones internas del ambiente (luz incidente, temperatura de aire y humedad relativa, y temperatura de la masa de grano para todos los tratamientos; además, al grano de café seco entre el 10-12% de humedad, se le realizó un análisis colorimétrico, físico y sensorial. Los datos obtenidos se sometieron al análisis estadístico de bloques al azar. Las cubiertas no presentaron diferencias estadísticamente significativas en el tiempo total de secado, aunque se evidencia una tendencia de mayor tiempo para la cubierta (SA). Las condiciones internas de secado sí presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, así, la cubierta (SA) presenta la menor intensidad de luz, menor temperatura del aire, mayor humedad relativa, y la menor temperatura del grano; lo contrario sucedió para la cubierta (SAV), la cual presenta los mayores valores para las mismas variables. Tanto el color como la calidad física y sensorial, no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En las notas sensoriales, el tratamiento ST se destaca con notas vegetativo, dulce y tostado, el SAV con notas nuez/cacao y el SA con notas afrutadas.



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The objective of the present study was to evaluate the effect of the plastic cover of the parabolic solar dryer on the physical and sensory quality of coffee variety Cenicafé 1. Three dryers were installed with different cover colors: yellow-green (SAV), transparent and blue (SA). The drying curve was determined, and the internal environmental conditions were measured (incident light, air temperature and relative humidity, and temperature of the bean mass for all treatments); in addition, a colorimetric, physical and sensory analysis was carried out on the dry coffee bean at 10-12% humidity. The data obtained were subjected to randomized block statistical analysis. There were no statistically significant differences in the total drying time for the different covers, although there was a tendency for the cover (SA) to have a longer drying time. The internal drying conditions did show statistically significant differences between treatments; thus, the cover (SA) showed the lowest light intensity, lowest air temperature, highest relative humidity, and lowest grain temperature; the opposite occurred for the cover (SAV), which showed the highest values for the same variables. Both color and physical and sensory quality did not show statistically significant differences. In the sensory notes, the ST treatment stood out with vegetative, sweet and roasted notes, the SAV with nutty/cocoa notes and the SA with fruity notes.

**APROBACION DE LA TESIS** Efecto del color en la cubierta plástica del secador solar parabólico sobre la calidad física y sensorial del café (*Coffea arabica* L.) variedad Cenicafé 1

Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Davana Aleiandra Orozco Blanco

Firma:

Nombre Jurado: Andrés Felipe Bahamón Monje

Firma:

EFFECTO DEL COLOR EN LA CUBIERTA PLÁSTICA DEL SECADOR SOLAR  
PARABÓLICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ (*Coffea arabica*  
L.) VARIEDAD CENICAFÉ 1

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

Autor

Erlendy Arnulfo Valenzuela Martínez

Código 20161145353

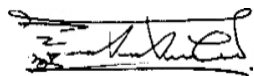
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Pitalito, Huila, Colombia. 2024

Firma



Director: Renso Alfredo Aragón Calderón

Firma



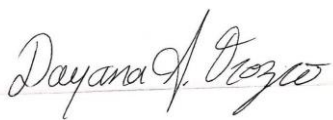
Codirector: Victor Manuel Martínez Castro

Nota de aceptación

Aprobado

---

Firma



Jurado: Dayana Alejandra Orozco Blanco

Firma



Jurado: Andrés Felipe Bahamón Monje

# EFFECTO DEL COLOR EN LA CUBIERTA PLÁSTICA DEL SECADOR SOLAR PARABÓLICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CENICAFÉ 1

## Resumen

En Colombia, gran parte del secado solar se hace bajo cubierta plástica en diferentes diseños y estructuras dentro de las que se destaca el secador parabólico con variaciones recientemente en el color de cubierta, por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del color de la cubierta del secador solar parabólico en la calidad física y sensorial durante el proceso de secado en café por beneficio húmedo en la variedad Cenicafé 1. Para ello, se instalaron en una finca cafetera a pequeña escala, 3 secadores solares tipo túnel con diferencia en el color de cubierta: tratamiento 1 (cubierta de polietileno color amarillo verdoso), tratamiento 2 (cubierta de polietileno color transparente) y tratamiento 3 (cubierta de polietileno color azul). Se determinaron las curvas de secado para cada tipo de cubierta, evaluando las condiciones internas: intensidad de la luz, temperatura del aire (bulbo seco), humedad relativa y temperatura del grano, así como las condiciones ambientales externas. Adicionalmente, al café obtenido de todos los tratamientos, con un porcentaje de humedad en base húmeda entre el 10-12 % se le realizó análisis colorimétrico, físico y sensorial. Los datos obtenidos se analizaron con el software InfoStat, bajo el diseño experimental de bloque al azar, con cuatro repeticiones. El tiempo de secado durante todo el experimento osciló entre 8 y 14 días aproximadamente, y no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos para esta variable. La intensidad de la luz, temperatura del aire y temperatura del grano, presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, siendo el de cubierta amarillo verdosa (SAV), el que obtiene los mayores promedios para estas variables, seguido del translúcido (ST) y por último el azul (SA); evidenciando con ello, que a menor intensidad de luz se produce menor temperatura del aire con mayor humedad relativa, y a su vez, una menor temperatura del grano. Con la humedad relativa del aire interno, entre el tratamiento SAV y ST no se evidencia diferencias estadísticas, pero si, en comparación con el tratamiento de la cubierta azul, por lo que se sugiere un efecto del color de cubierta sobre las condiciones internas de secado, por el contrario, no se evidencia el efecto de cubierta sobre el color en almendra, calidad física y calidad sensorial en puntaje SCA. Las notas de perfil sensorial acumulado durante todo el proceso de secado, se diferencian en el porcentaje de frecuencia entre tratamientos, destacándose principalmente el tratamiento ST con mayor presencia de notas vegetativo, dulce y tostado, el SAV con notas nuez/cacao y el SA con notas afrutadas.

Palabras claves: perfil sensorial, puntaje SCA, luz solar, cubierta plástica, parámetros colorimétricos.

## **Abstract**

In Colombia, most of the solar drying is done under plastic cover in different designs and structures, among which the parabolic dryer stands out with recent variations in the cover color. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of the cover color of the parabolic solar dryer on the physical and sensory quality during the drying process in coffee by wet processing in the Cenicafé 1 variety. For this purpose, three tunnel-type solar dryers were installed on a small-scale coffee farm, with a difference in the color of the cover: treatment 1 (greenish-yellow polyethylene cover), treatment 2 (transparent polyethylene cover) and treatment 3 (blue polyethylene cover). Drying curves were determined for each type of cover, evaluating the internal conditions: light intensity, air temperature (dry bulb), relative humidity and bean temperature, as well as the external environmental conditions. Additionally, colorimetric, physical and sensory analysis was carried out on the coffee obtained from all treatments, with a percentage of humidity in humid base between 10-12 %. The data obtained were analyzed with InfoStat software under a randomized block experimental design with four replications. Drying time throughout the experiment ranged from 8 to 14 days approximately, and there were no statistically significant differences ( $p>0.05$ ) between treatments for this variable. Light intensity, air temperature and grain temperature showed statistically significant differences ( $p<0.05$ ) between treatments, with the greenish-yellow cover (GYD) obtaining the highest averages for these variables, followed by the translucent (TD) and finally the blue (BS), showing that the lower the light intensity, the lower the air temperature with higher relative humidity, and in turn, the lower the grain temperature. With the relative humidity of the internal air, there is no statistical difference between the GYD and TD treatments, but there is, in comparison with the blue cover treatment, suggesting an effect of the cover color on the internal drying conditions; on the contrary, there is no evidence of the cover effect on green coffee color, physical quality and sensory quality in the SCA score. The sensory profile notes accumulated throughout the drying process differ in percentage frequency among treatments, with the TD treatment standing out with a greater presence of vegetative, sweet and toasted notes, the GYD with nutty/cocoa notes and the BS with fruity notes.

**Keywords:** sensory profile, SCA score, sunlight, plastic cover, colorimetric parameters.

## INTRODUCCIÓN

Para el año cafetero 2022/23 se produjeron 168,2 millones de sacos de 60 kg a nivel mundial y Colombia, con una producción de 10.700.000 sacos, ocupó la cuarta posición dentro de los mayores productores del mundo (International Coffee Organization, 2023). De esta producción, en Colombia, 545 mil familias dependen directamente, generando 2,5 millones de empleos directos e indirectos (Federación Nacional de Cafeteros, 2020), lo cual, para el año 2023 tuvo una participación del 9,85% del valor agregado en el PIB agrícola del país (UPRA, 2023). A nivel nacional, el Huila es el departamento mayor productor, con 2.267.053 sacos de 60 kg, el 20,31% de la producción total del país; asimismo, tiene el mayor número de hectáreas sembradas, 699.036,42 (Agronet, 2022b) y se cultiva en 35 de sus 37 municipios, con 82.366 productores cedulados, de los cuales el 97% son pequeños (< 5 ha), el 2% medianos (5 -10 ha) y el 1% grandes (>10 ha) (Cenicafé, 2019). Al sur de este departamento, se encuentran municipios como Pitalito, mayor productor de café a nivel nacional, con 19.834,10 toneladas y Oporapa con 2.291,85 toneladas (Agronet, 2022a).

El secado en Colombia se realiza a través de secadores solares y mecánicos. El secado solar se puede realizar a través de la radiación directa o mediada por cubiertas. Para el secado solar directo, se encuentran las bandejas corredizas (no tiene cubierta y por lo general se guardan en caso de lluvia o en la noche), y en los mediados por cubierta se encuentran los secadores parabólicos, marquesinas y tipo túnel, los cuales constan de una cubierta con plástico y un lecho de secado en malla a una altura recomendada entre 50 y 80 cm del suelo (Henaó Cuéllar et al., 2017; Oliveros Tascón et al., 2013). El secado a libre exposición o de radiación directa puede presentar desventajas al estar expuesto a la variación de las condiciones ambientales, dependiendo así de la disponibilidad de luz solar y la ausencia de lluvias, la contaminación cruzada con materiales como basura, químicos, polvo, arrastrados por el viento, así mismo, contaminación por aves, animales domésticos, insectos y roedores (Briceño-Martínez et al., 2020).

De acuerdo con Oliveros & Sanz (2011), el secado solar es el más usado en Colombia, principalmente en fincas pequeñas, que constituyen el 95% en el país. Para el Huila, aunque no existen datos exactos, se cree que la mayoría de las fincas usan secado solar, partiendo de que el 97% son pequeños productores (Cenicafé, 2019), además, en un estudio de caso en el departamento del Tolima para un grupo de 551 caficultores de 23 municipios, se logró verificar que el 93% empleaba secado solar, siendo el más usado, la marquesina (Bermeo Andrade et al., 2021).

Con el secado se busca preservar la calidad del grano y garantizar su inocuidad. Una interrupción prolongada del proceso puede ocasionar defectos físicos como el grano negro total o parcial, grano cardenillo; un sobresecado provoca un grano decolorado y veteado; cuando el proceso de secado es incompleto se produce un grano flojo; a temperaturas altas, se genera un grano cristalizado (Henaó Cuéllar et al., 2017).

El tipo de proceso influye en el tiempo de secado: el café natural sometido a condiciones de secado mecánico y contenidos de humedad inicial similares a las del café lavado, puede tardar dos a tres

veces más que este último en secarse (Borém, de Oliveira, et al., 2013). El café obtenido del proceso seco (café natural) de forma general es reconocido por cuerpo pesado, atributos de cata suaves, dulces y complejos; el café del proceso semiseco (honey) es reconocido por menor acidez, taza brillante y limpia y menos cuerpo que el café natural (Hameed et al., 2018).

Durante el proceso de secado el endospermo sufre alteraciones químicas relacionadas con el perfil de proteínas, porcentaje de germinación, lixiviación de potasio, conductividad eléctrica, forma de las células y conservación de las paredes celulares (Alves et al., 2017; Saath et al., 2010; Taveira et al., 2012). Para preservar la calidad del café es importante que la temperatura de secado no supere los 40 °C independientemente de cuál método de secado se aplique o el tipo de proceso (vía seca, húmeda o semihúmeda) (Alves et al., 2017; Brando & Brando, 2014; Ghosh & Venkatachalapathy, 2014; Marques et al., 2008; Pabón Usaquén & Osorio Pérez, 2019).

Dada la importancia y el uso extendido de los secadores solares con cubierta plástica entre los caficultores, se hace necesario identificar las investigaciones existentes sobre una de sus partes constitutivas, es decir, la cubierta. Primero, hay que resaltar que las investigaciones sobre cubiertas plásticas se han destacado a nivel mundial, para evaluar su efecto en las etapas fisiológicas de cultivos bajo sombrero en mallas selectivas. En Israel, líder en estas investigaciones, se plantea que el color, propiedades mecánicas, textura, aditivos cromáticos, elementos de dispersión y anudado de cada malla, tiene la capacidad de transmitir la luz de una forma específica. En tomate, la disminución en el tiempo de germinación y uniformidad para un sistema con malla de color perla sobrepuesta exteriormente en comparación con una cubierta de malla color roja, se obtuvo una germinación mucho más lenta (Shahak et al., 2004). En remolacha roja, se pudo evidenciar que esta planta responde negativamente a una reducción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y de la relación rojo/rojo lejano provocada por el color en la cubierta. Asimismo, para la película verde se presentó una baja capacidad antioxidante y concentración fenólica total, lo cual se traduce en disminución en la acumulación de biomasa (Stagnari et al., 2014).

En el café también se reporta interés del efecto de los colores del material de cubierta sobre la germinación, crecimiento y floración de las plántulas de café; al comparar los plásticos de colores con otros materiales se encontró que los plásticos son una mejor opción para la etapa de germinación (mayor cantidad de semillas germinadas), siendo el tratamiento polisombra el menos efectivo; para el crecimiento hubo diferentes resultados dependiendo de la variable estudiada: los plásticos transparente y azul provocaron un mayor crecimiento radicular; para la floración, la polisombra fue la más efectiva (Muñoz, 2019). Por tanto, se evidencia la necesidad de generar conocimiento sobre la influencia del color de la cubierta de los secadores solares sobre las condiciones internas de secado y calidad del grano.

Los estudios sobre cubiertas en secado de granos diferentes al café se han enfocado al análisis de las condiciones internas del secador o del colector solar, es decir, el ducto por medio del cual se ingresa y conduce el aire de secado. Bergues Ricardo et al. (2003) evaluaron el efecto de tres tipos de cubiertas (metálica, plástico transparente y polietileno negro) sobre las condiciones internas de secadores solares de maíz, pero la evaluación fue realizada inicialmente sin carga, es decir, que los secadores estaban vacíos, sin granos y de acuerdo con los resultados obtenidos de temperaturas máximas permitidas para este grano, eligieron aquel de cubierta con polietileno negro para realizar

finalmente el análisis específico de este secador con granos. Domínguez Calvo et al. (2016) evaluaron la influencia del color y forma del colector solar en el secado de semillas de soya empleando tres tipos de colectores (transparente simple, negro simple y combinado). Sin embargo, la evaluación hecha por estos últimos autores, se centró en el efecto indirecto de la modificación de las condiciones del aire a través del colector y no directamente del material de las cubiertas sobre los granos. Ellos lograron establecer por medio del análisis de la temperatura del grano y el porcentaje de germinación, que el colector más adecuado en términos de germinación era el negro simple, pero en términos económicos recomendaron el transparente simple.

Específicamente en el secado solar de café las investigaciones iniciaron con Cenicafé (2004), que evaluó la transmisión de luz total, difusa, termicidad y bloqueo de rayos UV, sin considerar el efecto sobre la calidad del grano o de la taza. Rodríguez Valenzuela et al. (2022) al comparar el efecto del proceso de beneficio sobre la calidad en taza utilizaron dos tipos de secadores con diferentes cubiertas, transparente de polipropileno exclusivamente para el beneficio húmedo y polipropileno recubierto exteriormente con una tela de polietileno negro al 80% exclusivamente para el beneficio semiseco, y concluyeron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre variedades y procesos; no obstante, aunque utilizaron diferentes cubiertas, la función de ellas era ser parte integral del tipo de proceso estudiado.

Recientemente, el interés de las investigaciones sobre cubiertas en secadores solares ha incluido el efecto de estas sobre la calidad sensorial del café. Aragón Barrera et al. (2022) evaluó el efecto del material de cubierta de secadores solares tipo gabinete sobre la calidad del café, pero específicamente para el proceso vía seca o café natural, empleando tres tipos de material de cubierta, policarbonato alveolar (color cobre), tela prosolar 140 (color claro) y polietileno (traslúcido); no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, entre tratamientos, para los atributos fragancia/aroma, sabor, acidez y cuerpo, el atributo sabor residual si presentó diferencias.

Otra investigación que evaluó el efecto de la cubierta del secador sobre la calidad sensorial del café, específicamente para el proceso húmedo, es la de Peñuela-Martínez et al. (2022), en la cual se utilizaron 5 tipos de cubiertas de diferentes colores, a las cuales se les determinó las características ópticas y mecánicas, monitoreo de temperaturas y humedades del aire dentro de los secadores y su incidencia en la calidad final del grano, obteniendo resultados sin diferencias estadísticamente significativas en la puntuación SCA.

Aunque los estudios mencionados sobre la influencia del tipo de cubierta plástica del secador solar sobre la calidad de taza del café presentan avances para la toma de decisiones en la selección de la cubierta, estas no fueron acompañadas de resultados sobre el efecto de la intensidad de luz al interior del secador, la temperatura de la masa de granos, el color de la almendra o el factor de rendimiento. La intensidad de luz ha demostrado ser útil cuando se evalúa tipos de cubiertas en la germinación de semillas de café (Muñoz, 2019). Los parámetros de color evaluados en la almendra de café han permitido diferenciar entre la especie robusta y arábica (Bicho et al., 2014), indicar predominancia sobre cada tipo de beneficio (Cortés-Macías et al., 2022; Poláková et al., 2022a) y el color de la almendra está asociado con ocurrencia de pérdida de calidad durante el almacenamiento (Borém, Ribeiro, et al., 2013). Y en el caso del factor de rendimiento su uso está

asociado a la cantidad de café pergamino que se necesita para obtener un café excelso e incide indirectamente sobre el precio de comercialización.

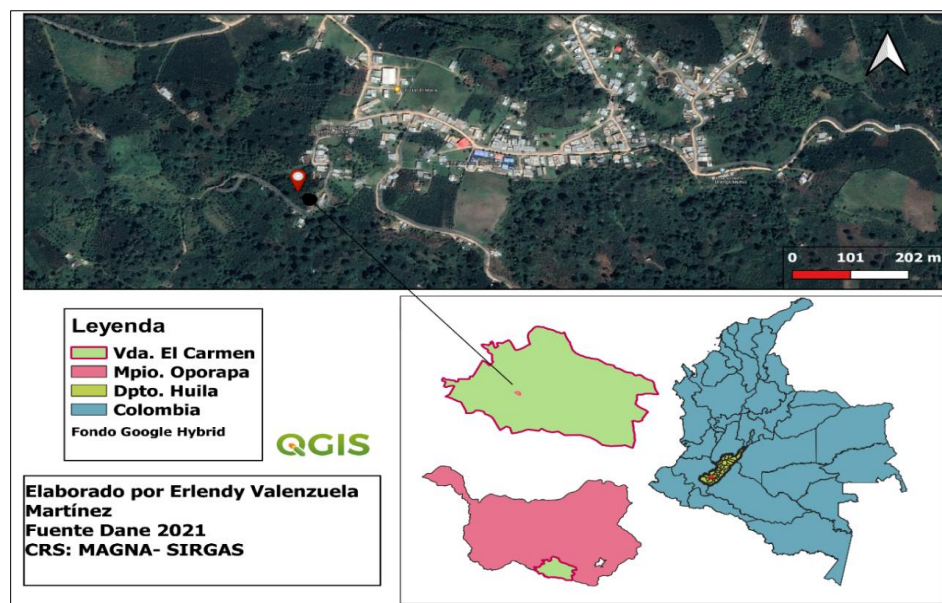
Teniendo en cuenta todo lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del color de la cubierta plástica del secador solar parabólico sobre la calidad física y sensorial del café (*Coffea arabica* L.) variedad Cenicafé 1, determinando la curva de secado, la luz incidente y el color en el grano seco o almendra, en la Finca cafetera La Cusumba, Vereda El Carmen, Oporapa, Huila.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Proyecto

El montaje del experimento se realizó en la vereda El Carmen del municipio de Oporapa, al sur del Huila, en la finca cafetera La Cusumba perteneciente a Don Arnulfo Valenzuela, con coordenadas  $2^{\circ}01'03.4''$  N y  $76^{\circ}02'22.4''$  W, a una altitud de 1580 msnm, sobre la cual se construyeron los secadores solares. La vereda del Carmen se encuentra aproximadamente a 7 km del casco urbano (Figura 1).

Oporapa, Acevedo, San Agustín, junto a otros municipios, conforman la zona más baja del departamento del Huila que a su vez representa la zona baja del Macizo colombiano, con brillo solar promedio de hasta 1600 horas anuales para el 80 % de los predios y precipitaciones de hasta 1700 mm por año (Cenicafé, 2019).



**FIGURA 1.** Localización del proyecto.

### Construcción de los secadores

Para el dimensionamiento se tuvieron en cuenta las recomendaciones de Cenicafé (2017), una comprobación previa para determinar el área necesaria de los secadores, ubicando una cantidad suficiente para el experimento de café lavado sobre un lecho y, ajustes, empleando materiales asequibles en la región y con base en terreno disponible en la finca.

Se construyeron 3 secadores tipo túnel con las mismas dimensiones y materiales, excepto únicamente en el color de cubierta. Cada secador consta de una entrada y salida de aire natural;

ventanas laterales para el control de temperatura interna; una cubierta plástica de polietileno separada del suelo a una altura de 25 cm, calibre 7 milésimas de pulgada; un lecho con malla cafetera red 5000, a una altura de 60 cm del suelo; una estructura en madera 5:5, tablas y, arcos en tubería PVC; una altura de cumbreira de 80 cm; y una superficie de 2,6 m<sup>2</sup> (1,3 m de ancho x 2 m largo) para una cantidad de 35 kg de café lavado o lo que es igual a 18 kg de café pergamino seco (CPS); la altura de camada de granos de aproximadamente 2 cm.

Para seleccionar el color de cubierta en cada tratamiento, se hizo un recorrido por la región con el fin de identificar los diseños y el color usado; también, con algunos caficultores en medio de conversaciones habituales, se les preguntaba el porqué de esos colores en sus plásticos. Posteriormente, se consultó de forma presencial y por medios virtuales a casas comerciales, identificando el color más utilizado, el precio y la disponibilidad de los colores. En definitiva, los colores para el experimento son el amarillo-verdoso (SAV), transparente (ST), y azul (SA) (tratamientos 1, 2 y 3, Figura 2.I). Inicialmente, se consideró evaluar un cuarto secador a libre exposición solar, que, aunque fue construido e implementado en el primer bloque, se descartó debido a la intensidad de las lluvias y el deterioro del grano.

Los secadores se ubicaron en dirección oriente-occidente, sobre un terreno plano y descubierto a sus alrededores; una separación entre secadores de 2,5 m y alineados paralelamente con el fin de evitar sombras como se evidencia en la Figura 2. Con ello, se garantizó la misma exposición y el mayor potencial para aprovechamiento solar y el desplazamiento del aire.



**FIGURA 2.** I) Montaje del experimento. II) Ubicación de los elementos de medición: a) sensor termohigrómetro, b) saco para control de pérdida de masa, c) canastilla plástica gravimet, d) Termohigrómetro digital, e) balanza gravimet, f) termómetro infrarrojo, g) luxómetro.

**Nota.** Los equipos e, f, g y la tabla de apuntes, solamente se ingresaban en el momento en que se realizaba la toma de datos.

### **Materia prima**

Se obtuvo de un lote con un área aproximada de 0,25 hectáreas, que corresponde a la variedad Cenicafé 1, en la finca El Topacio con altitud de 1530 m, ubicada a un 1 km, aproximadamente, del experimento. Este cultivo se estableció con semilla certificada por la Federación Nacional de

Cafeteros y es de los primeros lotes sembrados a libre exposición solar en dicha vereda, con una edad aproximada de 4 años, encontrándose en su segunda cosecha productiva.

### RECOLECCIÓN, DESPULPADO Y FERMENTACIÓN

Se realizó recolección manual selectiva entre 160 y 260 kg de café cereza. Los frutos se despulparon en la maquina JOTAGALLO Ref 3 de acuerdo con FNC (2022) y Boyacá Vásquez (2018). La recolección manual se ejecutó en el primer semestre del año 2023, entre los meses de marzo y mayo, correspondientes a la mitaca.

La fermentación se realizó de acuerdo a la metodología establecida para el uso del fermaestro (Peñuela Martínez et al., 2013).

Terminada la fermentación se realizó el lavado, retirando el café vano y utilizando tres enjuagues con agua limpia. Seguidamente, se zarandeó manualmente el café, eliminando el mayor porcentaje de pasillas.

El café lavado se llevó a los secadores (montaje del experimento) y, aleatoriamente se le asignaba 20 kg de café por tratamiento.

### SECADO

El primer día, se destapaban los secadores abriendo las entradas y salidas de aire y, las ventanas laterales en ausencia de lluvia, con el objetivo de aprovechar ventilación y retirar el mayor porcentaje de agua posible. Una vez retirada la humedad inicial cuando el café estaba oreado, las ventanas laterales solo se abrían para disminuir temperaturas por encima de 40 °C. Durante el día, por lo general, las puertas de entrada y salida de aire se mantenían abiertas excepto en presencia de lluvia. El café se revolvió mínimo 4 veces al día con el rastrillo revolvedor en material PVC. Finalizando el proceso de secado con una humedad aproximada del 14-15%, se amontonaba caliente para emparejar el secado y así, llevarlo homogéneamente a una humedad final entre el 10-12%.

Una vez recogido el café seco, aún con el pergamino, se le practicó una selección final para eliminar el mayor porcentaje de defectos antes de someterlo al análisis físico y sensorial. Para ello, de manera manual como es habitualmente hecho en fincas pequeñas, con ayuda de una zaranda, se seleccionaron los granos aparentemente sanos por color y llenado, se aislaron las pasillas y granos incompletos.

### ALMACENAMIENTO

Las muestras se empacaron en bolsas herméticas ziploc con su respectivo rotulado y se llevaron hasta un cuarto de almacenamiento en la Escuela Nacional de la Calidad del Café, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Tecnoparque Agroecológico Yamboró, en Pitalito, Huila. Allí se dejaron en estabilización durante aproximadamente 20 días hasta alcanzar el equilibrio recomendado para el análisis físico y sensorial.

## **Determinación de la curva de secado**

Para la determinación de la curva de secado se midió el contenido de agua en base húmeda durante este proceso. El control y monitoreo en campo se hizo por medio de la pérdida de masa usando una balanza de precisión por el método de gravimet (Jurado et al., 2009) y el método masa seca, tomando como mínimo tres lecturas al día para analizar pérdida de masa y, finalmente, cuando la humedad se encontraba por debajo del 14 % y el café aparentaba estar seco, se comprobaba una vez más con un medidor indirecto marca Kett. El contenido de agua se determinó diariamente por medio del método de la estufa, se sometían dos muestras de 10 g cada una durante 24 horas a 105 °C (Brasil, 2009) para contenidos de agua superiores al 20% y, durante 16 horas a 105 °C (ISO, 2003) para contenidos de agua inferiores al 20%. Además de lo anterior, se registró la hora tomada de cada muestra para determinación de humedad en base húmeda del grano. Las determinaciones en estufa se realizaron en el laboratorio de Física de la Universidad Surcolombiana, sede Pitalito. Finalmente, se graficó en el eje X el tiempo y en Y el contenido de humedad en base húmeda.

Simultáneamente, se monitoreó la humedad relativa y la temperatura del aire dentro de cada uno de los secadores con un Datalogger, llamado Sensor termohigrómetro ubicado en el centro de cada secador a una altura de 19 cm de la masa de café. La temperatura del grano se monitoreó a lo largo del secado, usando un termómetro infrarrojo, promediando 5 lecturas a diferentes puntos de la muestra en tres momentos durante el día (mañana, medio día y tarde).

## **Evaluación de la luz incidente**

Se determinó con el equipo luxómetro digital Habotest HT620 precisión 3%; rango de medición de hasta 100000 lux (320 -730 nm), que incluye la luz de la región visible (400 - 700 nm).

Se tomaron 5 lecturas dentro del secador durante todo el secado para cada tratamiento: mañana (7:00-9:00 a.m.), medio día (11:00 a.m.-1:00 p.m.) y tarde (3:00-5:00 p.m.) ubicando el equipo en el centro del secador.

Las características ópticas y mecánicas de los plásticos utilizados en las cubiertas se obtuvieron de las fichas técnicas solicitadas a la empresa fabricante y distribuidora del mismo.

## **Determinación de los parámetros de color**

Para la evaluación del color, se usó el colorímetro Konica Minolta CR-410 N.J. USA con los parámetros L\*, a\*, b\* del sistema CIE (Commission Internationale d'Eclairage) y, además, se calcularon las coordenadas cilíndricas, c\* y h°, de acuerdo con Cardoso et al. (2018). Se midió color en la almendra de café para cada tratamiento, promediando 3 lecturas de diferentes partes de la muestra, con el fin de obtener un resultado homogéneo de las coordenadas. La medición del color se realizó en el Laboratorio de Bromatología del Centro Surcolombiano de Investigación en

Café (Cesurcafé), adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, sede Neiva.

### **Análisis físico y sensorial**

Para evaluar diferencias o similitudes de calidad por medio de análisis sensorial, se aplicó la metodología de la asociación de cafés especiales de Lingle (2011) la determinación del análisis físico se hizo obteniendo el factor de rendimiento y la clasificación de defectos, regulado por la Federación Nacional de cafeteros en la resolución 02 del 2016, por la cual, unifica y actualizan las normas de calidad de café verde en almendra para exportación (FNC, 2016).

Las muestras fueron codificadas con el tipo de tratamiento utilizado para asegurar veracidad, evitando sesgos y errores por parte de los jueces.

El panel de catación estuvo compuesto por tres especialistas Q Grader, en las instalaciones de la Escuela Nacional de La calidad de Café, Tecnoparque Agroecológico Yamboró, SENA Pitalito Huila.

Los descriptores sensoriales de aroma y sabor fueron determinados en la evaluación sensorial y se clasificaron en 7 grupos (tostado, nuez/cacao, dulce, floral, afrutado, agrio/fermentado, verde/vegetativo) de acuerdo con la rueda de sabores recomendada por Spencer et al. (2016), con uso del programa Origin pro 2024 (Learning Edition).

### **Diseño experimental:**

Para el experimento se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, siendo la gradiente de variabilidad las diferentes condiciones ambientales en las que se realizaron las diferentes repeticiones (bloque). Fueron evaluados tres (3) tratamientos con cuatro (4) repeticiones cada uno, teniendo un total de 12 unidades experimentales, cada unidad experimental fue compuesta por un secador con las especificaciones detalladas anteriormente y una muestra de café lavado de 20 kg (Tabla 1), de los cuales, se utilizaron 500 g de café pergamino seco (CPS) para el análisis físico y sensorial. Para las variables luz, temperatura del grano, parámetros de color correspondientes al espacio CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  y  $h^\circ$ ), temperatura del aire y humedad relativa, tiempo de secado, factor de rendimiento y análisis sensorial, analizadas durante el ensayo, fueron comprobadas su normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett Se comprobó que todas cumplían estos parámetros. Luego se procedió a hacer un análisis de varianza y posteriormente cada una de las variables en las cuales se encontró diferencia significativa en el análisis de varianza fue hecha una separación de medias con Tukey con un p-valor de 0.05.

**TABLA 1.** Diseño experimental

| Bloque | Tratamiento |        |                  |
|--------|-------------|--------|------------------|
|        | Número      | Nombre | Café lavado (kg) |
| 1      | 1           | SAV    | 20               |
|        | 2           | ST     | 20               |

|   |   |     |    |
|---|---|-----|----|
|   | 3 | SA  | 20 |
| 2 | 1 | SAV | 20 |
|   | 2 | ST  | 20 |
|   | 3 | SA  | 20 |
| 3 | 1 | SAV | 20 |
|   | 2 | ST  | 20 |
|   | 3 | SA  | 20 |
| 4 | 1 | SAV | 20 |
|   | 2 | ST  | 20 |
|   | 3 | SA  | 20 |

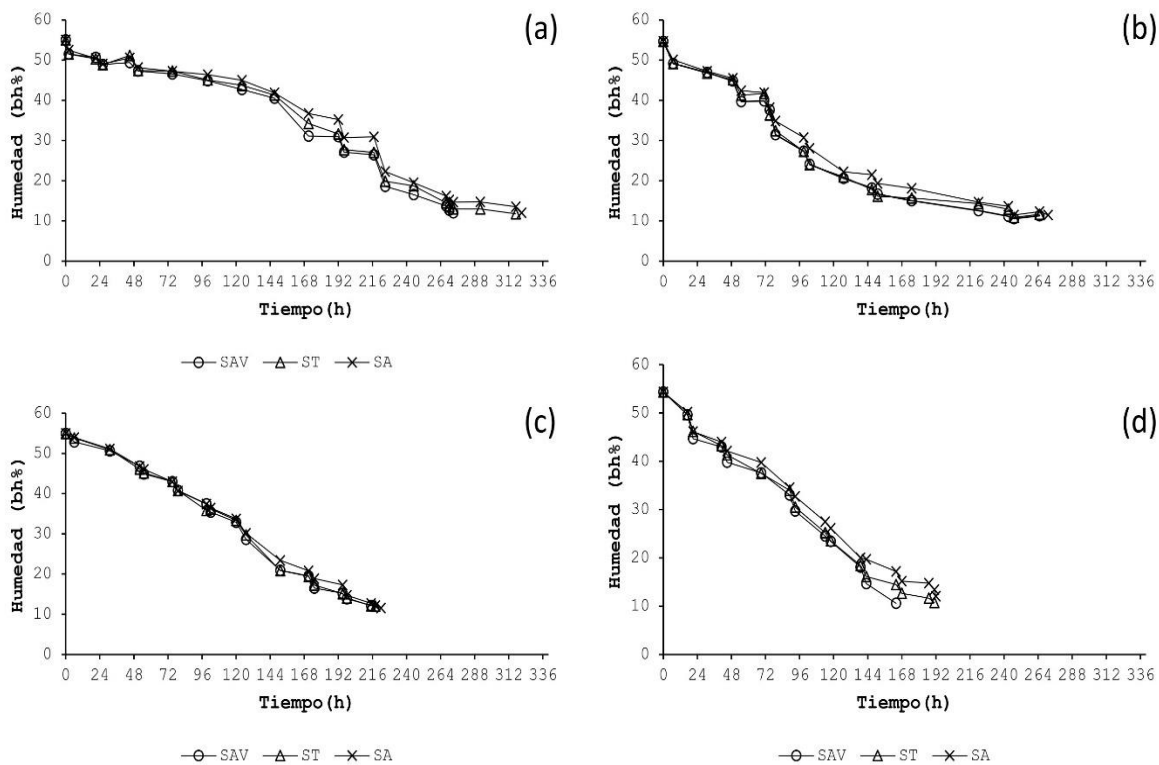
Nota: Secador con cubierta plástica de color Amarillo verdosa (SAV); Secador con cubierta plástica de color transparente (ST); Secador con cubierta plástica de color azul (SA).

Los datos de temperatura del grano, temperatura interna del aire, humedad relativa interna del aire y luz, que fueron empleados para el diseño estadístico, corresponden a registros tomados simultáneamente, en tres diferentes momentos durante el día: Mañana (7-9 am), medio día (11 am-1 pm) y tarde (3-6 pm).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Curva de secado

En la Figura 3 (a, b, c y d) se presentan las curvas de secado para cada uno de los tratamientos en cada uno de los bloques. El secado del bloque 1 se realizó entre los días 8/03/2023 a la 1:00 pm y el 21/03/2023 a las 12:00 m. El secado del bloque 2 se realizó entre los días 1/04/2023 a las 9:00 am y 12/04/2023 a las 4:00 pm. El secado del bloque 3 se realizó entre los días 22/04/2023 a las 10:00 am y 1/05/2023 a las 4:00 pm. El secado del bloque 4 se realizó entre los días 23/05/2023 a las 5:00 pm y el 31/ 05/2023 a las 5:00 pm.

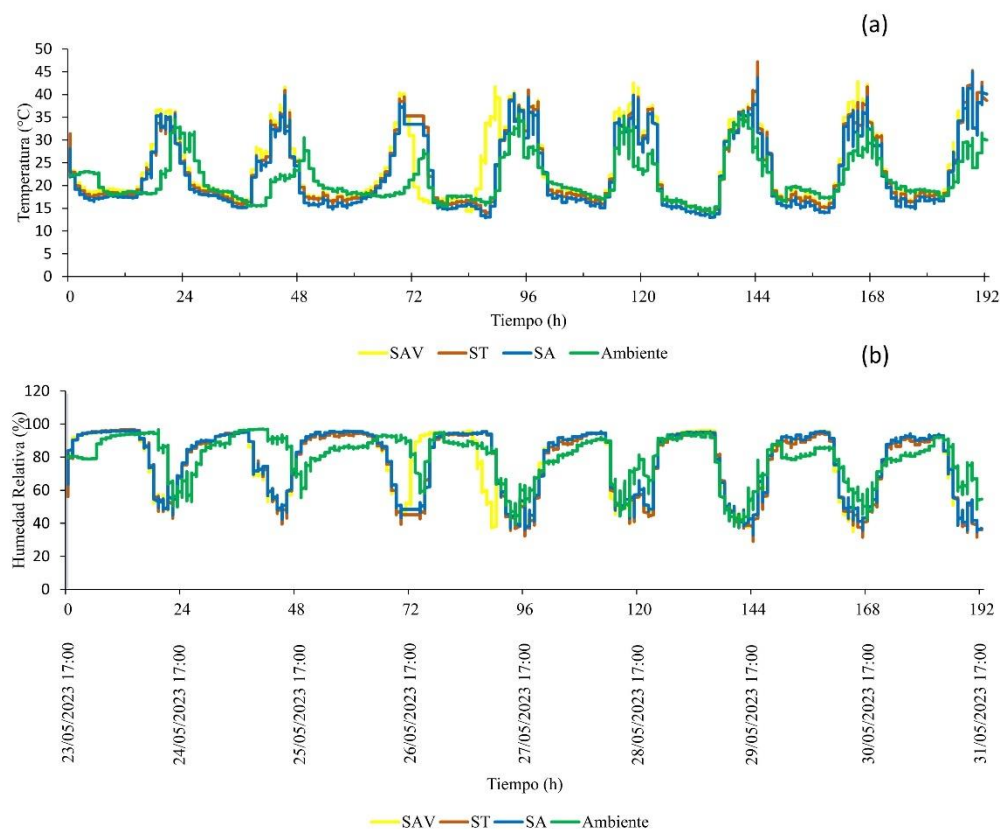


**FIGURA 3.** Humedad del café durante el secado para diferentes cubiertas. a) Bloque 1, b) Bloque 2, c) Bloque 3 y d) Bloque 4.

Para todos los bloques la humedad inicial del grano fue de 54,3-55,0%. El bloque 1 presentó el mayor tiempo de secado (321 h para SA, 317 h para ST y 273 h para SAV) y el bloque 4 presentó el menor tiempo (192 h para SA, 191 h para ST y 187 h para SAV) para todos los tratamientos. El secador con cubierta de color amarillo verdoso (SAV) presentó siempre el menor tiempo de secado, cuya única excepción se dio en el bloque 2, en el cual, alcanzó el mismo tiempo con el secador de cubierta transparente (ST). El secador de cubierta color azul (SA) presentó para todos los bloques el mayor tiempo de secado. En Colombia, diversos autores reportan que el secado solar puede presentar tiempos totales comprendidos de 3 a 10,8 días (Cenicafé, 2019; Largo Avila, 2020; Oliveros Tascón et al., 2013; Peñuela-Martínez et al., 2022; Vélez-Piedrahita et al., 2019). En el presente estudio, el cual emplea secadores parabólicos de cubierta plástica, se obtuvieron tiempos totales de secado dentro del rango reportado por los anteriores autores para el caso del bloque 3 y 4 (Figura 3 c y d); los bloques 1 y 2 (Figura 3 a y b) presentaron tiempos totales de secado mayores, lo cual, responde a las condiciones ambientales externas durante la realización del proceso, que, como plantea Cenicafé (2019), las variables ambientales inciden en el secado solar y por ello, no se puede establecer tiempos fijos de finalización.

En la Figura 4a se presenta el comportamiento de la temperatura al interior de los secadores comparada con la temperatura ambiente, es decir, en la parte externa a los secadores, durante el secado para el bloque 4. Además, en la Figura 4b se presenta la humedad relativa interna y externa

para este mismo bloque. La información representada en estas figuras considera los días y las noches. Se puede observar que para el secador con cubierta plástica azul (SA), se presentaron las menores temperaturas a lo largo del proceso de secado en este bloque, entre tratamientos. Se destaca, que independientemente del tipo de color de la cubierta, la temperatura al interior de los secadores es siempre mayor que la temperatura externa, lo cual confirma el efecto invernadero que propicia este tipo de secadores. Sin embargo, los tratamientos SA y ST presentaron menores temperaturas en la noche con respecto a la del ambiente; este comportamiento puede estar relacionado con lo manifestado por Espi (citado por Peñuela-Martínez et al., 2022), sobre la propiedad térmica del plástico, denominada termicidad, que se relaciona con la capacidad para retener calor durante la noche. Con respecto a la humedad relativa, se observa una tendencia a que la externa tuvo un mayor porcentaje que la obtenida dentro de los secadores. El comportamiento anterior para temperatura interna y externa y para humedades relativas internas y externas fue similar para los bloques 1, 2 y 3.



**FIGURA 4.** Comportamiento del clima al interior de cada tratamiento y en el ambiente externo, durante el secado, para el bloque 4. a) Temperatura del aire y b) Humedad relativa.

Aunque se presentaron diferencias en los tiempos de secado por bloque, el análisis estadístico en bloques al azar, permite establecer que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tabla 2). Las diferencias entre bloques (repeticiones) están dadas por el gradiente de

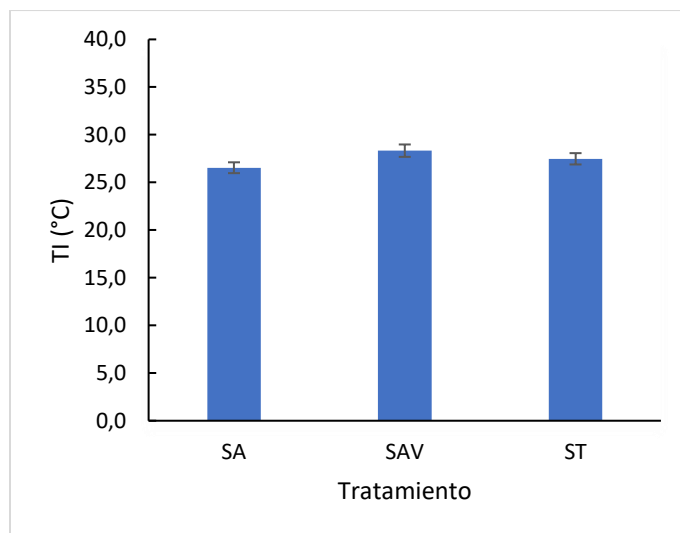
variabilidad de las diferentes condiciones ambientales, es decir, que, aunque se realizaron en el mismo sitio, cada repetición sucedió en diferentes fechas. En contraste, Peñuela-Martínez et al. (2022) encontraron diferencias en el tiempo de secado empleando 5 tipos de cubiertas (transparente, azul, naranja y amarillo verdoso), hallando hasta 40 horas menos de secado para el secador de cubierta amarillo verdoso con respecto al azul y naranja.

**TABLA 2.** Medias de los tiempos totales de secado para cada uno de los tratamientos.

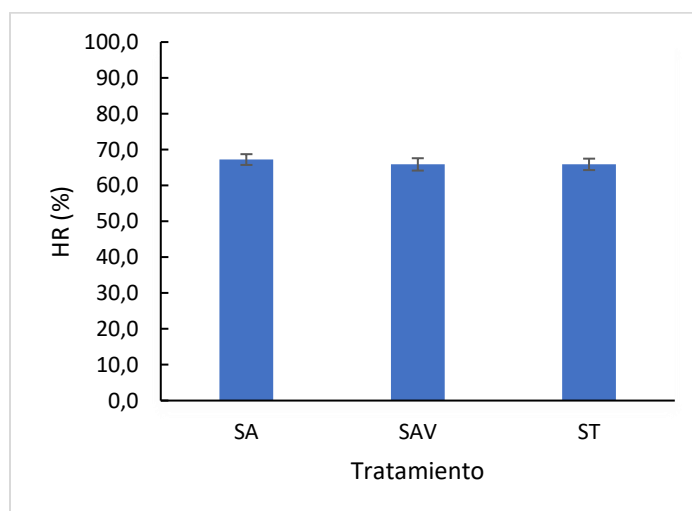
| Variable   | SA      | SAV     | ST      | p      |
|------------|---------|---------|---------|--------|
| Tiempo (h) | 251,5 A | 229,2 A | 247,7 A | 0,0764 |

Nota: Valores con la misma letra en las filas indican que no hay diferencias significativas con base en el test de Tukey ( $p < 0,05$ )

En las Figuras 5 y 6 se presentan los promedios de temperatura del aire y humedad relativa, al interior de los secadores, respectivamente. Hay un efecto del color de la cubierta plástica sobre las condiciones internas de secado entre tratamientos, así, se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre ellos: el tratamiento SA con un promedio de temperatura interna de 26,5 °C presentó las menores temperaturas. Por el contrario, el tratamiento SAV obtuvo un promedio de temperatura de 28,3 °C, siendo el mayor promedio. El tratamiento ST se mantuvo en la posición media, con un promedio de 27,5 °C. Asimismo, la humedad relativa interna también se vio influenciada por el tipo de cubierta, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de cubierta azul (SA) y los tratamientos de cubierta amarillo verdoso (SAV) y transparente (ST), sin diferencias entre estos dos últimos, los promedios son de 67,2%, 65,9% y 65,9%, respectivamente. De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que, en promedio, la cubierta azul genera condiciones internas de secado de menores temperaturas del aire y mayores humedades relativas y, el efecto contrario se produce en el secado con cubierta amarillo verdoso. La tendencia anterior, de que al interior de un secador solar con cubierta plástica ocurran condiciones de menores humedades relativas para mayores temperaturas internas del aire, fueron reportadas por Vélez-Piedrahita et al. (2019), en un estudio sobre el efecto de la geometría de las ventanas de entrada y salida de aire, para un secador tipo túnel con cubierta plástica, donde registraron, que, independientemente de la configuración de las ventanas, hay un comportamiento de mayores humedades relativas internas para menores temperaturas internas, en diferentes horas del día, por ejemplo, cuando el secador tenía un porcentaje de apertura del 55% de la ventana de salida del aire, presentaba una temperatura interna a las 8:00 am de  $20,3 \pm 0,35$  °C y a las 2:00 pm de  $27,3 \pm 1,40$  °C, correspondiendo a humedades relativas de  $89,80 \pm 0,04\%$  y  $81,1 \pm 0,15\%$ , respectivamente.

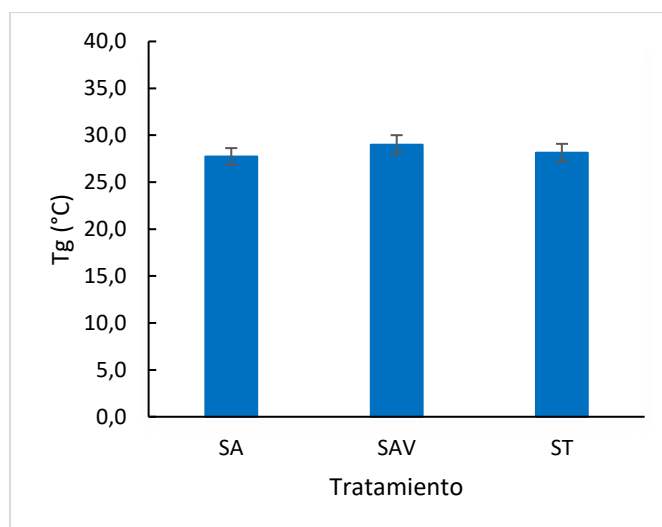


**FIGURA 5.** Promedio de la temperatura del aire dentro de los secadores (Ti) para cada tratamiento en los cuatro bloques (test de Tukey,  $p < 0,05$ ).



**FIGURA 6.** Promedio de la humedad relativa dentro de los secadores para cada tratamiento en los cuatro bloques (test de Tukey,  $p < 0,05$ ).

Al igual que la temperatura del aire y la humedad relativa interna, descritas anteriormente, la temperatura del grano también estuvo influenciada por el color de la cubierta del secador, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Figura 7). El tratamiento SA presentó el menor promedio de temperatura del grano, con valor de 27,7 °C, en comparación con el mayor promedio que corresponde al tratamiento SAV, de 29 °C y el tratamiento ST estuvo en el medio, con un promedio de 28,2 °C. De esta forma, se puede establecer que, así como el color de la cubierta tiene un efecto sobre las condiciones del aire interno, estas se reflejan en la temperatura del grano, siendo que en el tratamiento SA se encuentran en promedio las menores temperaturas internas y las menores temperaturas promedio del grano.



**FIGURA 7.** Promedio de la temperatura del grano ( $T_g$ ) para cada tratamiento dentro de los secadores para los cuatro bloques (test de Tukey,  $p < 0,05$ ).

### Luz incidente

Los valores de espesor, termicidad y transmisión de la luz para cada una de las cubiertas plásticas empleadas en los tratamientos se presentan en la Tabla 3. Además, las propiedades mecánicas resistencia al impacto, resistencia al rasgado, porcentaje de elongación y carga a la rotura son presentadas en la Tabla 4 para cada una de las cubiertas. La información de las Tablas 3 y 4, fue suministrada por el local proveedor de las cubiertas plásticas ubicado en Pitalito, Huila, que corresponde a la ficha técnica entregada por el fabricante al proveedor.

**TABLA 3.** Tratamientos y características de la cubierta: espesor, termicidad y transmisión de la luz.

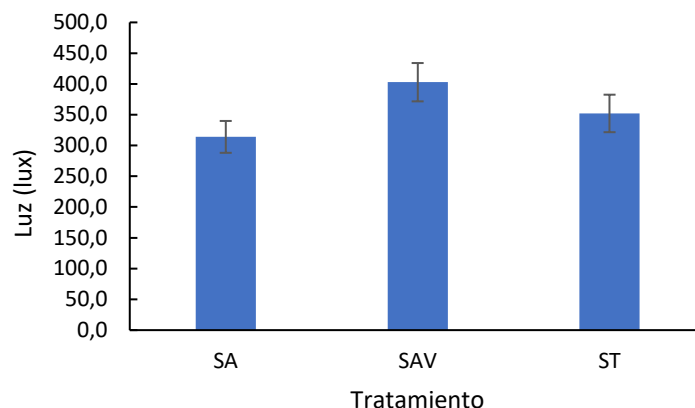
| Tratamiento | Nombre     | Espesor (milésima de pulg) | Tonalidad        | Termicidad (%) | Transmisión de la luz |                          |           |                              |
|-------------|------------|----------------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------------------------|
|             |            |                            |                  |                | UV-340nm (%)          | Bloque UV 290-340 nm (%) | Total (%) | Difusión de la luz total (%) |
| SAV         | Agroplas N | 7                          | Amarillo Verdoso | 60             | 1,7                   | 0,5                      | 82        | 57                           |
| ST          | Agroclear  | 7                          | Transparente     | 57 +10         | 1,5                   | 2                        | 83 -5     | 57 -5                        |
| SA          | Agroclear  | 7                          | Azul             | 55 -10         | 1,5                   | 2                        | 65±10     | 55 -5                        |

**TABLA 4.** Tratamientos y características de la cubierta: propiedades mecánicas.

| Tratamiento | Propiedades mecánicas      |                             |                             |                         |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|             | Resistencia al impacto (g) | Resistencia al rasgado (gf) | % de elongación a la rotura | Carga a la rotura (Mpa) |
| SAV         | 400                        | 650 DM<br>400 DT            | 700 DM<br>1000 DT           | 18 DM<br>18DT           |
| ST          | 400                        | 750 DM<br>900 DT            | 750 DM<br>1000 DT           | 18 DM<br>18DT           |
| SA          | 400                        | 750 DM<br>900 DT            | 750 DM<br>1000 DT           | 18 DM<br>18DT           |

DT: dirección transversal. DM: dirección máquina

De acuerdo con las características ópticas (Tabla 3), tanto la termicidad como la transmisión de luz total, difieren entre cada una de las cubiertas. La que mayor termicidad y transmisión de luz total presenta es la cubierta amarillo verdosa, seguida de la cubierta transparente y por último la cubierta de color azul. Teniendo en cuenta lo mencionado por Espi (citado por Peñuela-Martínez et al., 2022) en donde se vincula a la termicidad con la capacidad de retener calor en la noche, es evidente que, así como el tratamiento SA presenta los menores valores de termicidad, esto se relaciona con las menores temperaturas del aire internas obtenidas durante la noche para este mismo tratamiento (Figura 4). Todo lo contrario, sucede para el tratamiento SAV, para el cual, se obtuvieron mayores temperaturas, como respuesta a su mayor termicidad. De la misma manera sucedió para la transmisión de la luz total, de acuerdo con Peñuela-Martínez et al. (2022) quienes mencionan que a mayores porcentajes de transmisión de luz total se obtienen menores tiempos de secado y viceversa, en este experimento se encontraron menores tiempos de secado para el tratamiento SAV (Figura 3), el cual, presenta el mayor porcentaje de transmisión de la luz total (Tabla 3) y a su vez, se encontró en este estudio, que en promedio, presenta mayores cantidades de intensidad de luz (Figura 8).



**FIGURA 8.** Promedio de luz incidente dentro de los secadores.

Como se puede observar, en la Figura 8, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la luz incidente dentro de los secadores: 314 lux (SA), 402,8 lux (SAV) y 352,1 lux (ST). Con lo anterior, se sugiere que hay un efecto del color de la cubierta durante el secado que influye sobre la intensidad de la luz, las condiciones del aire (temperatura y humedad relativa), y la temperatura del grano al interior de los secadores, lo cual, se manifiesta con las diferencias estadísticamente significativas halladas para estas variables (Figuras 5, 6, 7 y 8). Si se observa el comportamiento de las condiciones internas del aire de secado para todos los tratamientos, se evidencia una relación de la siguiente manera: a menor intensidad de luz se produce menor temperatura del aire con mayor humedad relativa, y a su vez, una menor temperatura del grano. Lo descrito, se presenta en el tratamiento SA, donde se obtuvo la más baja intensidad de luz (Figura 8), menores temperaturas del aire (Figura 5), mayores humedades relativas de aire (Figura 6) y, menor temperatura del grano (Figura 7).

### Color de la almendra

El color de la almendra de café puede presentar diferencias entre la especie arábica y robusta, específicamente para las coordenadas  $L^*a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  y  $h^\circ$  (Bicho et al., 2014). Se han encontrado diferencias entre procesos de beneficio seco, semiseco y húmedo, para las coordenadas  $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Cortés-Macías et al., 2022), incluso, Poláková et al. (2022b) plantean que cada coordenada puede representar un tipo de proceso de beneficio, la luminosidad ( $L^*$ ) al beneficio húmedo, el enrojamiento ( $a^*$ ) al proceso vía seca o café natural y el color amarillento ( $b^*$ ) representa al proceso semiseco o honey.

En términos generales, existe una asociación entre el color de los alimentos con la impresión sensorial conduciendo a dar una valoración de aceptación o rechazo de un producto, que en el café representa una característica de calidad del grano (Cenicafé, 2019). En concordancia con lo anterior, Borém et al. (2013) destacan la importancia de mantener la coloración verde, verdosa o verde azulada de la almendra de café durante el almacenamiento, porque en la comercialización esta característica visual se usa para aceptar o rechazar el producto. Los autores mencionan,

además, que la pérdida de coloración de la almendra de café durante el almacenamiento se conoce como blanqueamiento y puede conllevar a la pérdida de su valor.

Diferentes autores reportan los valores de parámetros colorimétricos medidos en café almendra de la especie arábica, así, para L\* entre 32,57- 72,92, a\* entre 0,66- 4,23 y b\* entre 5,44-24,28 (Bicho et al., 2014; Cardoso et al., 2018; Cortés-Macías et al., 2022; Demianová et al., 2023; Manrique Cortes, 2016). De la misma forma, para los parámetros c entre 5,58-19,94 y h entre 76,65-84,05 (Bicho et al., 2014; Cardoso et al., 2018; Manrique Cortes, 2016). En el presente estudio se evaluaron las variables L\*, a\*, b\*, c\* y h°, y de acuerdo con el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las medias de los tratamientos (Tabla 5). Los valores de medias de todas las variables colorimétricas analizadas en este estudio, se encuentran dentro de los rangos reportados por los autores mencionados.

**TABLA 5.** Medias de las variables colorimétricas de la almendra del café al final del secado.

| Variables | SA     | SAV    | ST     | p      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| L*        | 55,7 A | 51,3 A | 53,9 A | 0,1535 |
| a*        | 2,6 A  | 2,3 A  | 2,2 A  | 0,2358 |
| b*        | 14,2 A | 12,5 A | 13,0 A | 0,0888 |
| c*        | 14,4 A | 12,7 A | 13,2 A | 0,0927 |
| h°        | 78,9 A | 79.0 A | 79.5 A | 0,2005 |

Nota: Valores con la misma letra en las filas indican que no hay diferencias significativas con base en el test de Tukey ( $p < 0,05$ )

### **Análisis físico y sensorial**

Para la evaluación de la calidad del café se tuvo en cuenta el análisis físico de los granos secos. La Tabla 6 presenta los resultados de los defectos físicos encontrados en el café. De acuerdo con Henao Cuéllar et al. (2017) los principales defectos ocasionados por secado inadecuado son: grano negro total o parcial, grano cardenillo, grano decolorado y vetado, grano flojo, grano cristalizado, grano vinagre y sobresecado. En el presente estudio, de forma general, se presentaron los siguientes defectos físicos relacionados con el secado: grano negro total o parcial, cardenillo, vetado, cristalizado, vinagre y sobresecado. El defecto vinagre se presentó en todos los bloques, para todos los tratamientos, excepto en el tratamiento SA para el bloque 1 y 3, y en el tratamiento ST para el bloque 4. Especialmente, este defecto tuvo mayor presencia en los bloques 2 y 3. El defecto negro total o parcial se presentó solamente en el bloque 1, en todos los tratamientos. El defecto sobresecado se presentó en el bloque 1, en el tratamiento SAV. El defecto cardenillo se presentó

únicamente en el bloque 3, en el tratamiento SA. El defecto cristalizado se presentó en el bloque 2, en el tratamiento ST. Se puede establecer que no hubo efecto del color de la cubierta sobre la calidad física del café debido a que, aunque el defecto vinagre se presentó en todos los bloques y para la mayoría de los tratamientos, de acuerdo con Pabón Usaquén & Osorio Pérez (2019) este defecto es causado por fermentación, como resultado de microorganismos presentes en varias etapas del proceso de beneficio, pero no se asocia directamente a la fase de secado. En el caso de los demás defectos encontrados en el presente estudio, asociados al secado, no se puede establecer una tendencia de ocurrencia influenciada por el color de la cubierta, debido a que se presentaron solamente en algunos tratamientos para algunos bloques.

**TABLA 6.** Análisis físico de café proveniente de los diferentes bloques por cada uno de los tratamientos.

| Defecto                   | Análisis físico |     |    |          |    |    |          |     |     |          |    |     |
|---------------------------|-----------------|-----|----|----------|----|----|----------|-----|-----|----------|----|-----|
|                           | Bloque 1        |     |    | Bloque 2 |    |    | Bloque 3 |     |     | Bloque 4 |    |     |
|                           | SAV             | ST  | SA | SAV      | ST | SA | SAV      | ST  | SA  | SAV      | ST | SA  |
| Negro total o parcial (g) | 1               | 1   | 2  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Vinagre (g)               | 1               | 1,3 | 0  | 2        | 3  | 4  | 1,9      | 2,4 | 0   | 1        | 0  | 0,5 |
| Veteado (g)               | 0               | 0   | 0  | 1        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Sobresecado (g)           | 1               | 0   | 0  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Flojo (g)                 | 0               | 0   | 0  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Cardenillo (g)            | 0               | 0   | 0  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 1,3 | 0        | 0  | 0   |
| Cristalizado (g)          | 0               | 0   | 0  | 0        | 1  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Ámbar o mantequilla (g)   | 0               | 0   | 0  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |
| Decolorado o reposado (g) | 0               | 0   | 0  | 0        | 0  | 0  | 0        | 0   | 0   | 0        | 0  | 0   |

Es importante mencionar que la temperatura del aire dentro del secador alcanzó valores superiores a los 40 °C en algunos momentos específicos (Figura 4a) para todos los bloques, aunque metodológicamente se manejaron aperturas de compuertas laterales para evitar que esto se diera durante tiempo prolongado. Lo anterior no tuvo un efecto marcado sobre la calidad física, porque al observar el defecto físico de grano cristalizado, asociado a temperaturas superiores a 50 °C (Hena Cuéllar et al., 2017; Pabón Usaquén & Osorio Pérez, 2019), este defecto se presentó exclusivamente para el bloque 2, tratamiento ST (Tabla 6), sin embargo, para este mismo bloque, los tratamientos SAV y SA, que también presentaron temperaturas del aire puntuales por encima de 40 °C, no contenían este defecto. Peñuela-Martínez et al. (2022), analizando diferentes tipos de cubiertas en secadores tipo túnel, también reportaron temperaturas del aire internas, superiores a 40 °C, no obstante, la calidad sensorial no se afectó, y obtuvieron, para todos los casos puntuaciones SCA superiores a 80 puntos.

Al igual que con los defectos físicos tampoco se presenta efecto del color de la cubierta del secador sobre el factor de rendimiento (FR) del café. En la Tabla 7 se presentan los promedios de FR para

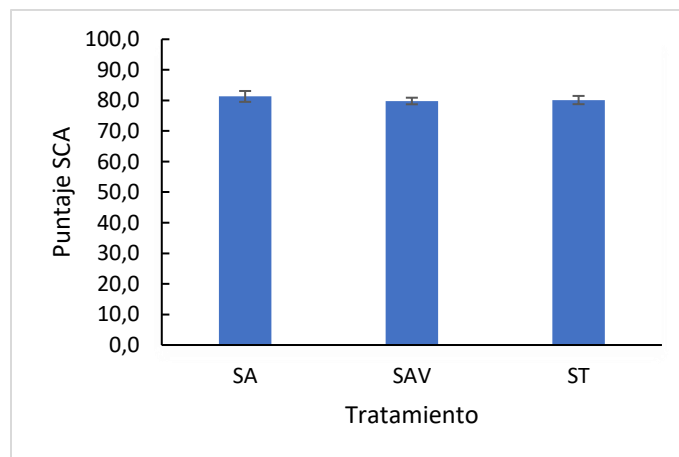
los diferentes tipos de cubierta, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas. De acuerdo con Cenicafé (2019), el FR se define como “la cantidad de café pergamino seco que se necesita para obtener un saco de 70 kilogramos de café excelso”.

**TABLA 7.** Promedios del factor de rendimiento (FR) obtenidos de secado solar bajo diferentes tipos de cubiertas plásticas.

| Variable    | SA     | SAV    | ST     | p      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| FR (kg CPS) | 91,4 A | 91,1 A | 91,5 A | 0,9888 |

Nota: Valores con la misma letra en las filas indican que no hay diferencias significativas con base en el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Además del análisis físico, también se evaluó la calidad sensorial del café. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las puntuaciones SCA, entre tratamientos, y los valores de las medias para SA, SAV y ST fueron 81,3, 79,8 y 80,1, respectivamente (Figura 9). Estos valores hacen notar que en promedio se obtuvo un café especial muy bueno en los tratamientos SA y ST, clasificación que coincide con la obtenida para la misma variedad, Cenicafé 1, evaluada por Peñuela-Martínez et al. (2022). Es necesario mencionar que el bloque 1 para todos los tratamientos presentó las valoraciones SCA por debajo de 80 puntos, así, tanto el tratamiento SA como el ST obtuvieron un puntaje SCA de 76,5 y el tratamiento SAV obtuvo 77. Los demás bloques (2, 3 y 4) presentaron valoraciones iguales o superiores a 80 puntos, para todos los tratamientos. Los valores promedio de puntuación SCA obtenidos para los tratamientos. Según Flórez R et al. (2016), la variedad Cenicafé 1 puede ser descrita con calidad de bebida muy buena y clasificada como café especial.



**FIGURA 8.** Promedios de la calidad sensorial del café en puntos SCA obtenidos de secado solar bajo diferentes tipos de cubiertas plásticas.

Dicho lo anterior, se puede establecer que el color de la cubierta no tuvo influencia sobre la calidad sensorial valorada en puntuación SCA, entre tratamientos. Similar resultado encontró Peñuela-Martínez et al. (2022), quienes evaluaron 5 tipos de cubiertas plásticas (azul, amarillo verdoso, naranja y 2 variaciones de transparente) y concluyeron que la calidad global del café no se afectó por efecto de las cubiertas durante el secado. Estos últimos autores añaden que la calidad final del café no está relacionada con el proceso de secado, es decir, con los tipos de cubiertas sino con las características iniciales del grano. La anterior afirmación permite establecer que los menores valores de puntuación SCA obtenidos en el bloque 1, mencionados anteriormente, no estuvieron afectados por el proceso de secado, sino que de acuerdo con las observaciones en el área de donde provenía el café, están relacionadas con el gradiente de variabilidad de las condiciones ambientales, es decir, que, aunque se recolectó el café del mismo lote, cada recolección entre bloques se realizó en diferentes fechas.

Al igual que la calidad sensorial, los principales atributos no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Lo anterior se puede observar en la Tabla 8 en la cual se presentan los puntajes SCA obtenidos para fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez y cuerpo. En la investigación realizada por Peñuela-Martínez et al. (2022), para diferentes tipos de cubiertas (azul, amarillo verdoso, naranja y 2 variaciones de transparente) en secadores solares tipo túnel tampoco se evidenciaron diferencias entre tratamientos para estos atributos.

**TABLA 8.** Promedio para el puntaje de atributos según SCA obtenidos para los diferentes tratamientos de secado.

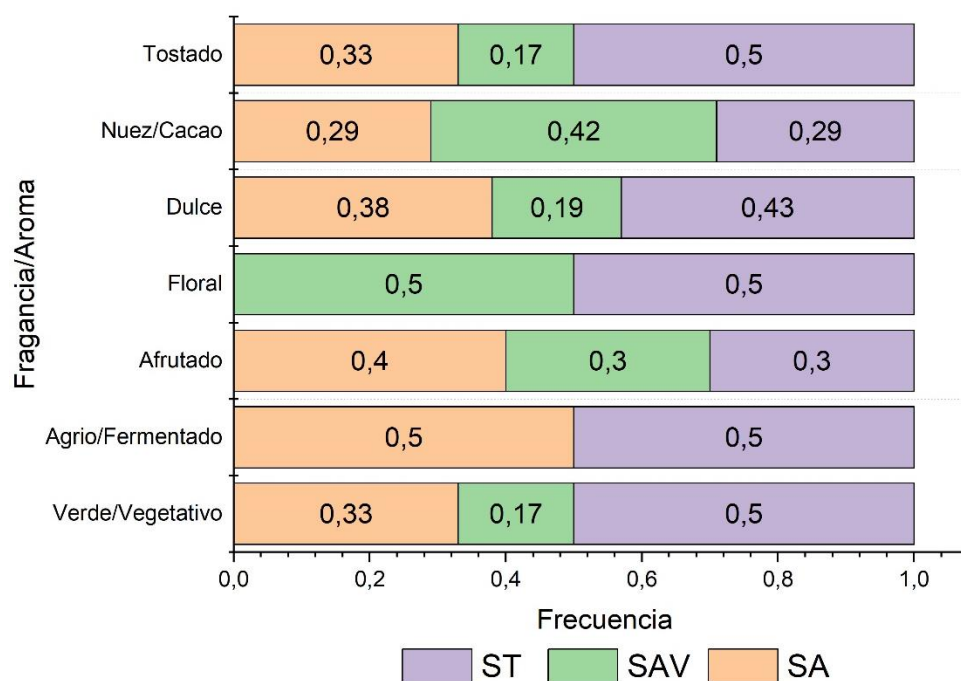
| <b>Atributo</b> | <b>SA</b> | <b>ST</b> | <b>SAV</b> | <b>p</b> |
|-----------------|-----------|-----------|------------|----------|
| Fragancia/aroma | 7,38 A    | 7,50 A    | 7,56 A     | 0,3554   |
| Sabor           | 7,38 A    | 7,06 A    | 7,19 A     | 0,2205   |
| Sabor residual  | 7,25 A    | 7,06 A    | 7,06 A     | 0,6532   |
| Acidez          | 7,31 A    | 7,13 A    | 7,06 A     | 0,3877   |
| Cuerpo          | 7,31 A    | 7,00 A    | 7,06 A     | 0,3033   |

Nota: Valores con la misma letra en las filas indican que no hay diferencias significativas con base en el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

De forma similar, en un estudio donde se evaluó el efecto del material de cubierta de secadores solares tipo gabinete sobre la calidad del café natural (beneficio seco), empleando tres tipos de material de cubierta, policarbonato alveolar (color cobre), tela prosolar 140 (color claro) y polietileno (traslúcido), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, entre

tratamientos, para los atributos fragancia/aroma, sabor, acidez y cuerpo, el atributo sabor residual si presentó diferencias (Aragón Barrera et al., 2022).

Además de los principales atributos sensoriales presentados anteriormente, en la Figura 10 se presentan las frecuencias absolutas de las notas de fragancia/aroma para los diferentes tratamientos. Estos descriptores o notas sensoriales fueron reportadas por los catadores durante el análisis sensorial. Cada categoría presentada está conformada por los descriptores encontrados en todos los bloques para cada tratamiento.



**FIGURA 10.** Frecuencia absoluta de las notas de fragancia/aroma declaradas por los catadores para todos los bloques.

De acuerdo con la Figura 10, se evidencia que, aunque en diferentes proporciones, hay presencia de todos los grupos de notas en los tres tratamientos, exceptuando el grupo floral en el tratamiento SA y Agrio/fermentado para el tratamiento SAV. El tratamiento ST se destaca con mayor porcentaje sobre los demás tratamientos, para las notas verde/vegetativo, dulce y tostado, con el tratamiento SA tiene una misma proporción en la nota agrio/fermentado y en nuez/cacao; con el tratamiento SAV obtiene un mismo porcentaje para la nota floral y afrutado. El tratamiento SA se destaca en la nota afrutado. El tratamiento SAV se destaca en la nota nuez/cacao, sin embargo, es quien obtiene un menor porcentaje de frecuencia de las notas en general, con respecto a los otros tratamientos. Para la variedad Cenicafé 1, la cual fue estudiada en el presente trabajo, Flórez R

et al. (2016) describen su perfil sensorial con notas de catación a cacao, miel y avellana. Las notas miel y avellana, específicamente, no fueron reportadas por los catadores dentro del presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se realizó esta investigación, se puede concluir que:

El tiempo total de secado no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, existe una tendencia marcada a que el mayor tiempo ocurra en el tratamiento SA (251,5 h en promedio) y el menor tiempo en el SAV (229,2 h en promedio).

Se encontró efecto del color de la cubierta durante el secado sobre la intensidad de la luz, las condiciones del aire de secado (temperatura y humedad relativa) y la temperatura de la masa de granos de café dentro de los secadores, con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. A menor intensidad de luz se produce menor temperatura del aire, mayor humedad relativa, y menor temperatura del grano. El tratamiento SAV presentó la mayor intensidad de luz (402,8 lux), seguido del tratamiento ST (352,1 lux) y el tratamiento SA (314 lux).

El color de la almendra de café no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las variables colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$  y  $h^\circ$ , lo cual, permite establecer que no existe efecto del color de la cubierta sobre el color de la almendra.

En el análisis físico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el factor de rendimiento entre tratamientos y, aunque se hallaron algunos defectos físicos relacionados con la etapa de secado, solo ocurrió en algunos bloques para algunos tratamientos y no se atribuyen al efecto del color de la cubierta.

El color de la cubierta no influyó sobre la calidad sensorial expresada en puntuación SCA de la bebida de café. Los descriptores sensoriales encontrados para cada uno de los tratamientos permitieron evidenciar que el ST se destacó principalmente con grupos de notas verde/vegetativo, dulce, floral y tostado, el SAV con notas nuez/cacao y el SA con notas afrutadas.

Esta investigación facilita al caficultor información para la toma de decisiones al momento de seleccionar el tipo de cubierta a emplear en su secador en función de la calidad sensorial del café. Además de lo anterior, contribuye como punto de partida para futuras investigaciones relacionadas con el efecto de la cubierta en otras variedades de café, en otros tipos de beneficio diferentes al café lavado y estudios orientados a si se pueden obtener diferentes descriptores sensoriales dependiendo del color de la cubierta.

## AGRADECIMIENTOS

Al centro Surcolombiano de Investigación de Café (CESURCAFÉ), a la Escuela Nacional de la Calidad del Café, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Tecnoparque Agroecológico Yamboró, Pitalito y al Ingeniero Carlos Andrés Arcos Ávila, por la disposición la infraestructura física y talento humano en apoyo a esta investigación.

## REFERENCIAS

- Agronet. (2022a). *Reporte: Área, Producción, Rendimiento y Participación Municipal en el Departamento por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=4>
- Agronet. (2022b). *Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alves, G. E., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., & Cambuy, V. (2017). *Qualidade fisiológica e sensorial do café arábica submetido a diferentes temperaturas e fluxos de ar de secagem*. 39, 225-233. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.31065>
- Aragón Barrera, L., Vanegas Bustos, J. D., & Córdoba, N. (2022). *Efecto del material de cubierta de secadores solares tipo gabinete en la calidad y perfil sensorial de café de procesamiento natural*.
- Bergues Ricardo, C. C., Abdala Rodríguez, J. L., Griñán Villafañe, P., Fonseca Fonseca, S., Pantoja E, J., Acosta Vargas, Z., & Hernández Gálvez, G. (2003). Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno. *Tecnología Química*, 23(1), 63-73.
- Bermeo Andrade, H., Tovar Perilla, N., Beltrán Parga, Y., & Agregado Briñez, J. L. (2021). *Innovación en procesos poscosecha para la diferenciación de cafés especiales en el Tolima. Informe de sistematización*. [file:///C:/Users/admin/Documents/tesis/documentos/otros libros/cafés tolima.pdf](file:///C:/Users/admin/Documents/tesis/documentos/otros%20libros/cafes%20tolima.pdf)
- Bicho, N. C., Leitão, A. nio E., Ramalho, J. C., & Lidon, F. C. (2014). Application of colour parameters for assessing the quality of arabica and robusta green coffee. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(1), 9-17. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i1.17190>
- Borém, F. M., de Oliveira, P. D., Isquierdo, E. P., Giomo, G. da S., Saath, R., & Cardoso, R. A. (2013). Scanning electron microscopy of coffee beans subject to different forms processing and drying. *Coffee Science*, 8(2), 218-225. [http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/420/pdf\\_150](http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/420/pdf_150)
- Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Fortunato, V. A., & Isquierdo, E. P. (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, 52, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>
- Boyacá Vásquez, L. A. (2018). *Estudio exploratorio de la obtención de café verde mediante beneficio Honey y la determinación de su calidad en taza*. Universidad Nacional de Colombia.

- Brando, C. H. J., & Brando, M. F. P. (2014). Methods of coffee fermentation and drying . En R. F. Schwan & G. H. Flet (Eds.), *Cocoa and Coffee Fermentation* (pp. 367-396). CRC Press.
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf)
- Briceño-Martínez, B., Castillo-Calderón, J., Carrión-Jaura, R., & Díaz-Sinche, D. (2020). Propuesta de implantación de invernadero de secado de café con cubierta parabólica y estructura modular adaptada. *Ingenius*, 24, 36-48. <https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.04>
- Cardoso, D. B., Tavares De Andrade, E., Alfredo, R., Calderón, A., Rabelo, H. S., De, C., Dias, A., & Lemos, I. Á. (2018). Determination of thermal properties of coffee beans at different degrees of roasting. *Coffee Science*, 13, 498-509.
- Cenicafé. (2004). *Resumen del informe anual de actividades Cenicafé 2003-2004*. [https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras\\_publicaciones/informes\\_anuales](https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/informes_anuales)
- Cenicafé. (2017). *Construcción de secadores solares tipo túnel con nuevos materiales*. <https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/08/AVT0482-Construcción-de-secadores-solares-túnel-con-nuevos-materiales.pdf>
- Cenicafé. (2019). *Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (Cenicafé, Ed.). Gobernación del Huila. <https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0005>
- Cortés-Macías, E. T., López, C. F., Gentile, P., Girón-Hernández, J., & López, A. F. (2022). Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia. *Postharvest Biology and Technology*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111852>
- Demianová, A., Bobková, A., Poláková, K., Jurčaga, L., Bobko, M., Lidiková, J., Mesárošová, A., Belej, L., & Bučko, O. (2023). Moisture content and its possible effect on textural properties and color of green coffee arabica. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(5). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9491>
- Domínguez Calvo, G., Morejón Mesa, Y., & Travieso Ruiz, C. C. (2016). Influencia del color y forma del colector solar en el secado de semillas de soya. *Ciencia Técnicas Agropecuarias*, 24, 62-67.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2020). Ensayos sobre Economía de Cafeteros. En *Federación Nacional de Cafeteros* (Número 33, p. 107). Federación Nacional de Cafeteros. <https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2020/05/Revista-No.-33-Final.pdf>
- Flórez R, C. P., Maldonado L, C. E., Cortina G, H. A., Moncada B, M. del P., Montoya R, E. C., Ibarra R, L. N., Unigarro M, C. A., Rendón S, J. R., & Duque O, H. (2016). *Cenicafé 1 Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4178/1/AVT0469.pdf>

- FNC. (2016). *Resolucion 02 2016: por la cual se unifican y actualizan las normas de calidad del café verde en almendra para exportación*.  
[https://mcp.bolsamercantil.com.co/ArchivosPublicados/PDF/PubId=14912\\_DCE Cafe Excelso.pdf](https://mcp.bolsamercantil.com.co/ArchivosPublicados/PDF/PubId=14912_DCE Cafe Excelso.pdf)
- FNC. (2022). *7 prácticas clave para el beneficio de café de calidad*.  
[https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras\\_publicaciones/publicaciones\\_recomendadas\\_2/publicaciones\\_siete\\_practicas\\_clave\\_en\\_el\\_beneficio\\_y\\_secado](https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/publicaciones_recomendadas_2/publicaciones_siete_practicas_clave_en_el_beneficio_y_secado)
- Ghosh, P., & Venkatachalapathy, N. (2014). *Processing and Drying of Coffee-A Review*.  
<https://www.researchgate.net/publication/269986518>
- Hameed, A., Hussain, S. A., Ijaz, M. U., Ullah, S., Pasha, I., & Suleria, H. A. R. (2018). Farm to Consumer: Factors Affecting the Organoleptic Characteristics of Coffee. II: Postharvest Processing Factors. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1184-1237.  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365>
- Heno Cuéllar, J. D., Gutiérrez Guzmán, N., & Orozco Blanco, D. A. (2017). *Buenas Prácticas Y Procedimiento Para el Secado de Cafés Especiales*. Universidad SurColombiana.  
<file:///C:/Users/admin/Downloads/LIBRO SECADO CAFES ESPECIALES.pdf>
- International Coffee Organization. (2023). *Coffee report and outlook*.  
[https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_December\\_2023\\_ICO.pdf](https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf)
- ISO. (2003). *ISO 6673: 2003 Green Coffee- Determination of loss in mass at 105 °C*.
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135-147.  
<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2015/12/Mtodo-para-medir-el-contenido-de-humedad-del-cafe-pergamino.pdf>
- Largo Avila, E. (2020). *Efecto del secado solar intermitente en la composición química del café* [Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79488/71795389.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Lingle, T. R. (2011). *The Coffee Cupper's Handbook: Systematic Guide to the Sensory Evaluation of Coffees Flavor*.
- Manrique Cortes, C. A. (2016). *Evaluación del proceso de clasificación por tamaño y color de café (Coffee arabica L.) en la planta trilladora de las cooperativas Cafètrilla*. Universidad Surcolombiana.
- Marques, E. R., Meira Borém, F., Fonseca, R. G., Pereira, A., Antônio, M., Biaggioni, M., & Agrônomo, A. (2008). *Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (Coffea arabica L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem* (Vol. 32, Número 5).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500030>
- Muñoz, D. Y. B. (2019). *Influencia de la luz mediante coberturas plásticas de colores sobre la germinación, crecimiento y floración de la especie Coffea arabica, en la sede los robles de la Fundación*

Universitaria de Popayán.

<http://unividadafup.edu.co/repositorio/files/original/4ae2b134f588a610561b24679a738e6b.pdf>

- Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia engineering and coffee in Colombia. *Revista de Ingeniería, 0*(33), 99-114.
- Oliveros Tascón, C. E., Ramírez Gómez, C. A., Sanz Uribe, J. R., Pañuela Martínez, A. E., & Pabón Usaquén, J. (2013). *Manual del cafetero colombiano. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Tomo 3*. Cenicafé. [https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_26](https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_26)
- Pabón Usaquén, J. P., & Osorio Pérez, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. En *Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 167-185).
- Peñuela Martínez, A. E., Pabón Usaquén, J. P., & Sanz Uribe, J. R. (2013). *MÉTODO FERMAESTRO: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café*. 8. <https://www.google.com/search?q=meodo+fermaestro&oq=meodo+fermaestro&aqs=chrome..69i57j33i10i160l2.4619j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Peñuela-Martínez, A. E., Restrepo-Rivera, M. V., & Tibaduiza, C. A. (2022). Secado solar de café usando diferentes tipos de cubiertas plásticas. *Revista Cenicafé, 73*(2), e73206. <https://doi.org/10.38141/10778/73206>
- Poláková, K., Bobková, A., Demianová, A., Belej, L., Jurčaga, L., Bobko, M., Mesárošová, A., & Žiak, M. (2022a). Changes in textural properties and color due to the processing method of green coffea arabica. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 12*(Special Issue). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9458>
- Poláková, K., Bobková, A., Demianová, A., Belej, L., Jurčaga, L., Bobko, M., Mesárošová, A., & Žiak, M. (2022b). CHANGES IN TEXTURAL PROPERTIES AND COLOR DUE TO THE PROCESSING METHOD OF GREEN COFFEA ARABICA. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 12*(Special Issue). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9458>
- Rodríguez Valenzuela, J. J., Roa Ramos, J. D., & Martínez Castro, V. M. (2022). Evaluación del proceso de beneficio semiseco en las variedades de Café (Coffee arábica) Castillo, Colombia y Caturra y su efecto en la calidad en taza. *Ingeniería y Región, 27*, 6-15. <https://doi.org/DOI:10.25054/22161325.3148>
- Saath, R., Borém, F. M., Alves, E., Taveira, J. H. da S., Medice, R., & Coradi, P. C. (2010). Scanning electron microscopy of the endosperm of coffee (Coffea arabica L.) during the drying process. *Ciencia e Agrotecnologia, 34*(1), 196-203. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542010000100025>
- Shahak, Y., Ganelevin, R., Glissakovsky, E. E., Oren, S. M., Gal, E., Díaz, P. M., Callejón, Á. J., Camacho, F. F., & Fernández, R. E. J. (2004). Efectos de la modificación de la calidad de la luz mediante mallas de sombreo fotosselectivas ( ChromatiNet) sobre la fisiología, mejora del rendimiento y calidad de las cosechas. En U. de Almería (Ed.), *Producción hortícola y Seguridad alimentaria* (pp. 117-137). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=6254>

- Spencer, M., Sage, E., Velez, M., & Guinard, J. X. (2016). Using Single Free Sorting and Multivariate Exploratory Methods to Design a New Coffee Taster's Flavor Wheel. *Journal of Food Science*, 81(12), S2997-S3005. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13555>
- Stagnari, F., Galieni, A., Cafiero, G., & Pisante, M. (2014). Application of photo-selective films to manipulate wavelength of transmitted radiation and photosynthate composition in red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva* Alef.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(4), 713-720. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6312>
- Taveira, J. H. da S., da Rosa, S. D. V. F., Borém, F. M., Giomo, G. S., & Saath, R. (2012). Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47(10), 1511-1517. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000014>
- UPRA. (2023). *Variación Producto Interno Bruto (PIB) y valor agregado sectorial*. <https://experience.arcgis.com/experience/f63f655e2a534213848432434325f852/page/Macroeconom%C3%ADa/?views=Variaci%C3%B3n-PIB>
- Vélez-Piedrahita, S., Ciro-Velásquez, H., Osorio-Saráz, J., & Largo-Ávila, E. (2019). Estudio del efecto de la geometría de un secador solar típico para café con CFD\*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 149-161. <https://doi.org/doi.org/10.22395/rium.v18n35a9>

## Anexos

**ANEXO 1** Resultados del perfil sensorial de todas las muestras de café para cada tratamiento durante todas las repeticiones (bloques 1, 2, 3 y 4).

| Bloque | SAV  | ST  | SA   |
|--------|--|---|--|
| 1      | Dulce, frutos secos, Áspero, Amargo, Chocolate, Maíz.                                  | Frutos secos, Residual vegetal, Cereal, Panela, Caña, Maíz, Maní  | Dulce, ácido, sabor residual astringente pesado, áspero, amargo, seco maní, maíz, vegetal. |
| 2      | Dulce Chocolate intenso, caramelo, áspero, sabor residual pesado, vegetal, astringente | Dulce intenso, caña, chocolate, maíz, vegetal, vainilla, caramelo, sabor residual, áspero, cuerpo baja. | Dulce, Chocolate Amargo, Apanalado Vainilla Acidez de Naranja, Maíz Suave.                 |
| 3      | Cítrico, naranja verde, cuerpo bajo, aromático   | acidez, floral violeta, vegetales, cuerpo bajo, sabor residual áspero                                   | Caramelo, cítrica, vegetales, cítrico naranja  |
| 4      | Chocolate, Floral, cuerpo maduro, Sabor residual agradable                             | Cítrica, vainilla, mandarina, vegetal   | Caramelo, cítrica, vegetales, cítrico naranja  |