



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 26 - julio - 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad: Pitalito

El (Los) suscrito(s):

Herney Narvaez Vargas, con C.C. No. 1083911072,

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

Titulado **DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ CON CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, EN LA FINCA LA RUBIELA DE LA VEREDA EL MACAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA**

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.

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:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

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.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

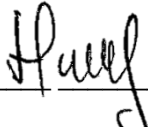
VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

Herney Narvaez Vargas

Firma:  \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:**

**DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ CON CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, EN LA FINCA LA RUBIELA DE LA VEREDA EL MACAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA**

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Narvaez Vargas	Herney

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Aragón Calderón	Renso Alfredo
Guzmán Manrique	Orlando

**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:** 49 p.

**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 4</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

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

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

**MATERIAL ANEXO:** MAPA, DISEÑOS, PRESUPUESTO, CRONOGRAMA, GRAFICAS, EVALUACION SENSORIAL, FOTOGRAFIAS

**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. <u>Café</u>	<u>coffe</u>	6. _____	_____
2. <u>Secador solar</u>	<u>solar drying</u>	7. _____	_____
3. <u>Eficiencia de secado</u>	<u>drying efficiency</u>	8. _____	_____
4. _____	_____	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

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

A nivel nacional y departamental, Pitalito se destaca como el principal productor de café, liderando tanto en área cultivada como en volumen de producción. Para ser efectivo, todas las variables que afectan el proceso deben conocerse y controlarse para mantener la calidad del producto. En este sentido, el objetivo de este trabajo de pasantía fue desarrollar un secador solar de café con control y monitoreo de temperatura, en la finca la Rubiela de la vereda el macal en el municipio de Pitalito, Huila. El desarrollo se inició con la determinación de la zona de estudio en donde se implementó el proyecto, una vez seleccionada y caracterizada la zona de estudio se procedió al diseño arquitectónico y estructural de la obra con el fin de determinar las características constructivas y el presupuesto de total de obra; realizado el presupuesto, se llevó a cabo la construcción del secador solar activo propuesto para luego ponerlo en funcionamiento y así poder medir las diferentes variables ambientales y variables físicas del grano bajo las nuevas características del secador con el objetivo de evaluar tanto la eficiencia del secado como las características organolépticas



finales respecto al secador anteriormente existente. Como resultado de este trabajo y considerando tanto las condiciones topográficas y ambientales como la proyección de aumento en la producción del grano de café seco en la finca, el mejoramiento en la eficiencia del proceso de secado y el cumplimiento de la normatividad de construcción vigente (NSR 10) y las directrices de instituciones como la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), el nuevo secador construido demostró mejoras sustanciales en capacidad y tiempo de secado en comparación con el secador preexistente, aumentando la capacidad y velocidad de secado de 840 kg de grano húmedo en 9 días a 1687.5 kg en un tiempo máximo de 12 días. Además, se evidenció un mejor rendimiento en términos de eficiencia térmica de secado, con valores máximos de 14.27%, 10.57% y 6.76% en cada uno de los tres niveles en dirección de arriba hacia abajo del nuevo secador, en comparación con la eficiencia máxima de 10.25% del secador preexistente. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del nuevo diseño en la optimización del proceso de secado del café. La elección de materiales ecológicos como la guadua permitió disminuir los costos de implementación de la obra en comparación con materiales tales como metales, estructura en concreto entre otros. El costo total de la obra se determinó en un total de \$22.727.107,17 pesos colombianos (COP), desglosado en un subtotal de \$17.482.390,13 COP para los costos directos y \$5.244.717,04 COP para los costos indirectos (equivalentes al 30% de los costos directos).

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

At the national and departmental level, Pitalito stands out as the main coffee producer, leading both in cultivated area and production volume. To be effective, all variables that affect the process must be known and controlled to maintain product quality. This achievement not only highlights its importance locally, but is also supported by international recognition of having one of the best coffees in the world. However, the coffee drying mechanism is complex. To be effective, all variables that affect the process must be known and controlled to maintain product quality. In this sense, the objective of this internship work was to develop a solar coffee dryer with temperature control and monitoring, on the La Rubiela farm in the El Macal village in the municipality of Pitalito, Huila. The development began with the determination of the study area where the project was implemented. Once the study area was selected and characterized, the architectural and structural design of the work was carried out in order to determine the construction characteristics and the budget. total work; Once the budget was made, the construction of the proposed active solar dryer was carried out and then put it into operation and thus be able to measure the different environmental variables and physical variables of the grain under the new characteristics of the dryer with the objective of evaluating both the drying efficiency and the final organoleptic characteristics compared to the previously existing dryer. As a result of this work and considering both the topographic and environmental conditions as well as the projection of an increase in the production of dry coffee beans on the farm, the improvement in the efficiency of the drying process and compliance with current construction regulations (NSR 10) and the guidelines of institutions such as the National Federation of Coffee Growers (FNC), the new dryer built demonstrated substantial improvements in capacity and drying time compared to the pre-existing dryer, increasing the capacity and drying speed of 840 kg of wet grain in 9 days to 1687.5 kg in a maximum time of



12 days. Furthermore, better performance was evident in terms of drying thermal efficiency, with maximum values of 14.27%, 10.57% and 6.76% in each of the three levels in the top-down direction of the new dryer, compared to the maximum efficiency of 10.25% of the preexisting dryer. These results support the feasibility and effectiveness of the new design in optimizing the coffee drying process. The choice of ecological materials such as guadua allowed us to reduce the costs of implementing the work compared to materials such as metals, concrete structure, among others. The total cost of the work was determined at a total of \$22,727,107.17 Colombian pesos (COP), broken down into a subtotal of \$17,482,390.13 COP for direct costs and \$5,244,717.04 COP for indirect costs (equivalent to 30% of direct costs).

### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: M.Sc. Juan Gonzalo Ardila Marín

Firma:

Nombre Jurado: M.Sc. Andrés Felipe Bahamón Monje

Firma:

**DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ CON CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, EN LA FINCA LA RUBIELA DE LA VEREDA EL MACAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA**

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

Autor

Herney Narváez Vargas: 20162151127

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Pitalito, Huila, Colombia. 2024

Firma

---

Director: Renso Alfredo Aragón Calderón

Firma

---

Codirector: Orlando Guzmán Manrique

Nota de aceptación

---

Firma

---

Jurado: Juan Gonzalo Ardila Marín

Firma

---

Jurado: Andrés Felipe Bahamón Monje

# **DESARROLLO DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ CON CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, EN LA FINCA LA RUBIELA DE LA VEREDA EL MACAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA**

## **RESUMEN**

A nivel nacional y departamental, Pitalito se destaca como el principal productor de café, liderando tanto en área cultivada como en volumen de producción. En el año 2015, el municipio abarcó una gran extensión en área, logrando una producción notable a nivel departamental. Este logro no solo resalta su importancia a nivel local, sino que también se ve respaldado por el reconocimiento internacional de poseer uno de los mejores cafés del mundo. Sin embargo, el mecanismo de secado del café es complejo. Para ser efectivo, todas las variables que afectan el proceso deben conocerse y controlarse para mantener la calidad del producto. En este sentido, el objetivo de este trabajo de pasantía fue desarrollar un secador solar de café con control y monitoreo de temperatura, en la finca la Rubiela de la vereda el macal en el municipio de Pitalito, Huila. El desarrollo se inició con la determinación de la zona de estudio en donde se implementó el proyecto, una vez seleccionada y caracterizada la zona de estudio se procedió al diseño arquitectónico y estructural de la obra con el fin de determinar las características constructivas y el presupuesto de total de obra; realizado el presupuesto, se llevó a cabo la construcción del secador solar activo propuesto para luego ponerlo en funcionamiento y así poder medir las diferentes variables ambientales y variables físicas del grano bajo las nuevas características del secador con el objetivo de evaluar tanto la eficiencia del secado como las características organolépticas finales respecto al secador anteriormente existente. Como resultado de este trabajo y considerando tanto las condiciones topográficas y ambientales como la proyección de aumento en la producción del grano de café seco en la finca, el mejoramiento en la eficiencia del proceso de secado y el cumplimiento de la normatividad de construcción vigente (NSR 10) y las directrices de instituciones como la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), el nuevo secador construido demostró mejoras sustanciales en capacidad y tiempo de secado en comparación con el secador preexistente, aumentando la capacidad y velocidad de secado de 840 kg de grano húmedo en 9 días a 1687.5 kg en un tiempo máximo de 12 días. Además, se evidenció un mejor rendimiento en términos de eficiencia térmica de secado, con valores máximos de 14.27%, 10.57% y 6.76% en cada uno de los tres niveles en dirección de arriba hacia abajo del nuevo secador, en comparación con la eficiencia máxima de 10.25% del secador preexistente. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del nuevo diseño en la optimización del proceso de secado del café. La elección de materiales ecológicos como la guadua permitió disminuir los costos de implementación de la obra en comparación con materiales tales como metales, estructura en concreto entre otros. El costo total de la obra se determinó en un total de \$22.727.107,17 pesos colombianos (COP), desglosado en un subtotal de \$17.482.390,13 COP para los costos directos y \$5.244.717,04 COP para los costos indirectos (equivalentes al 30% de los costos directos).

**Palabras clave:** café; secado solar; eficiencia de secado.

## **DEVELOPMENT OF A SOLAR COFFEE DRYER WITH TEMPERATURE CONTROL AND MONITORING, IN THE FARM LA RUBIELA DE LA VEREDA EL MACAL IN THE MUNICIPALITY OF PITALITO, HUILA.**

### **ABSTRACT**

At the national and departmental level, Pitalito stands out as the main coffee producer, leading both in cultivated area and production volume. In 2015, the municipality covered a large area, achieving notable production at the departmental level. This achievement not only highlights its importance locally, but is also supported by international recognition of having one of the best coffees in the world. However, the coffee drying mechanism is complex. To be effective, all variables that affect the process must be known and controlled to maintain product quality. This achievement not only highlights its importance locally, but is also supported by international recognition of having one of the best coffees in the world. However, the coffee drying mechanism is complex. To be effective, all variables that affect the process must be known and controlled to maintain product quality. In this sense, the objective of this internship work was to develop a solar coffee dryer with temperature control and monitoring, on the La Rubiela farm in the El Macal village in the municipality of Pitalito, Huila. The development began with the determination of the study area where the project was implemented. Once the study area was selected and characterized, the architectural and structural design of the work was carried out in order to determine the construction characteristics and the budget. total work; Once the budget was made, the construction of the proposed active solar dryer was carried out and then put it into operation and thus be able to measure the different environmental variables and physical variables of the grain under the new characteristics of the dryer with the objective of evaluating both the drying efficiency and the final organoleptic characteristics compared to the previously existing dryer. As a result of this work and considering both the topographic and environmental conditions as well as the projection of an increase in the production of dry coffee beans on the farm, the improvement in the efficiency of the drying process and compliance with current construction regulations (NSR 10) and the guidelines of institutions such as the National Federation of Coffee Growers (FNC), the new dryer built demonstrated substantial improvements in capacity and drying time compared to the pre-existing dryer, increasing the capacity and drying speed of 840 kg of wet grain in 9 days to 1687.5 kg in a maximum time of 12 days. Furthermore, better performance was evident in terms of drying thermal efficiency, with maximum values of 14.27%, 10.57% and 6.76% in each of the three levels in the top-down direction of the new dryer, compared to the maximum efficiency. of 10.25% of the preexisting dryer. These results support the feasibility and effectiveness of the new design in optimizing the coffee drying process. The choice of ecological materials such as guadua allowed us to reduce the costs of implementing the work compared to materials such as metals, concrete structure, among others. The total cost of the work was determined at a total of \$22,727,107.17 Colombian pesos (COP), broken down into a subtotal of \$17,482,390.13 COP for direct costs and \$5,244,717.04 COP for indirect costs (equivalent to 30% of direct costs).

**Keywords:** coffee; solar drying; drying efficiency.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de café en el municipio de Pitalito, Huila, hace un aporte importante al desarrollo del sur del país, gracias a las condiciones climáticas, topográficas y ambientales idóneas para la formación de la Agroindustria cafetera, siendo un producto significativo para la economía nacional. Gracias a los diversos concursos organizados en el país como el de taza de la excelencia y los organizados por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia enfocados en micro lotes, se puede identificar una amplia gama de atributos en el perfil de taza de café producida en el municipio de Pitalito; esto ha permitido ganar numerosos premios nacionales e internacionales (Vargas, 2018). Las cifras más recientes mostraron que para el año 2022, Colombia produjo 669.858,17 toneladas de café sembradas en 699.036,42 hectáreas (Agronet, 2023).

En el ámbito nacional y departamental, el municipio de Pitalito es el mayor productor y de mayor área de café, en el año 2015, con un área de 20.153 hectáreas y una producción estimada de 50.000 toneladas de café pergamino seco de trilla, representó el 16,8% de la participación departamental, además, con el reconocimiento internacional del mejor café del mundo (Alcaldía Municipal de Pitalito, 2022).

En este sentido, de acuerdo a Sánchez & Gahona (2018), el proceso de secado del café es muy importante, ya que la humedad, asociada a la actividad de agua, es el parámetro más relevante para determinar si los granos corren el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. Esto se hace para evitar la germinación de semillas, reducirles la humedad, hasta el punto de prevenir el crecimiento de hongos y evitar el deterioro. Plantean que la ausencia de defectos en la calidad final del producto y el cuidado en operación, dependen del tipo de secado seleccionado; sugieren, además, que el secado que mejor conserva los atributos de calidad, es el secado natural, dado que la luz solar mantiene la calidad del café porque les da buen color a los granos y asegura la calidad en la taza, por eso se recomienda que se seque no solo por medios mecánicos, sino para que el café reciba al menos ocho horas de luz solar cuando comienza a secarse. Según Cabrera & Mora (2009), hay varios parámetros que afectan simultáneamente el tiempo que se tarda en reducir el contenido de humedad del grano, tales como: temperatura del aire de secado, humedad relativa del aire, flujo de aire y humedad de equilibrio. Así mismo, Cenicafé (2009) sostiene que la humedad del café pergamino es un factor determinante en el proceso de comercialización, de gran importancia en la conservación de sus características físicas, sensoriales e inocuidad. Para el café, se ha definido el rango de humedad entre el 10% y el 12%, como un intervalo en el cual el producto conserva sus características para la comercialización.

Sin embargo, el mecanismo de secado del café es complejo. Para ser efectivo, todas las variables que afectan el proceso deben conocerse y controlarse así mantener la calidad del producto, entre estas variables, el control de la temperatura durante el secado es muy importante, ya que se ha demostrado daño estructural en el grano cuando se usa calor excesivo, lo que resulta en una pérdida de calidad de la bebida debido a fugas en el contenido celular que se lixivia, pues puede oxidarse y causar un sabor rancio. Por otra parte, a falta de secado del café, se presenta decoloración al tener un exceso de humedad en la superficie de los granos, lo cual genera mohos (Cruz *et al.*, 2010). Resultado de las condiciones de secado ya descritas, otro factor que se debe tener en cuenta son las instalaciones para realizar los procesos de secado, ya que por lo general se presentan sitios con topografías irregulares, lo

que dificulta la construcción e implementación de secadores idóneos para un secado adecuado del café. De acuerdo con las características topográficas, el caficultor debe idearse como secar su producto, sea dispuesto sobre placas en concreto o con la realización de secadores que puedan secar la totalidad de la cosecha (Cruz *et al.*, 2010). Debido a estas problemáticas, el secado de granos presenta gran dificultad para los agricultores, quienes, después de esperar mucho tiempo para cosechar, todavía lidian por secar el grano dada la escasa infraestructura de secado, esto, debido a que, de acuerdo con Cenicafe (2006), el secado del café es una actividad que cada pequeño productor realiza individualmente con su familia, por sus propios medios, el trabajo principal lo realizan las mujeres, donde el área de secado depende del espacio disponible y la cantidad de café lavado que se necesita secar.

Debido a la importancia del café a nivel regional, departamental y nacional y las diferentes problemáticas que se presentan durante el proceso de secado del grano, diferentes autores han venido desarrollando durante los últimos años investigaciones que ayuden a mitigar los impactos negativos generados sobre la comercialización y valorización del café a partir de un mal proceso de secado. Cenicafe desarrolló un método de fácil uso y bajo costo, que permite medir la humedad del café durante el proceso de secado solar, y retirarlo cuando está en el rango entre el 10% y el 12% (Oliveros *et al.*, 2009). El método se basa en la conservación de la materia seca durante el proceso de secado, es decir, se asume que se retira fundamentalmente agua, considerando que las pérdidas por respiración son pequeñas y se pueden descartar. Dentro de los resultados de la implementación del método, se encontró que los caficultores han manifestado gran interés por continuar utilizando el método como una forma de control en el secado. Además, mencionan que el método ha funcionado y el café no ha sido rechazado en los puntos de compra. Durante el desarrollo del proyecto, los caficultores identificaron aspectos favorables, principalmente, que ayuda a determinar si se presenta rehumedecimiento del café durante el proceso de secado o una vez retirado del secador, si conserva la muestra de la canastilla con el lote de café, evita trillar y manipular el café repetidamente y da seguridad del contenido de humedad del café en el momento de la venta.

Para el año 2013 se publicó una investigación en donde se presentan tecnologías que se utilizan actualmente en Colombia para el secado del café, desarrolladas en Cenicafe. Como recomendaciones prácticas para obtener mejores resultados en el secado solar del café se aconsejó tener en cuenta las siguientes recomendaciones: 1. Llevar al secador café bien lavado, limpio y bien escurrido, dejándolo al menos una hora en el tanque al finalizar el lavado. 2. Depositar el café sobre el piso del secador aprovechando al máximo el área de secado disponible, para permitir su oreo rápido. Al día siguiente recoger el café formando una capa de máximo 2 cm de altura. 3. Evitar el contacto del café con la lluvia. Ante la inminencia de ésta, se deben cerrar parcialmente las compuertas, permitiendo la circulación de aire a través del secador. Si se dispone de ventilador extractor, se pueden cerrar un poco más las compuertas, aunque no totalmente. 4. Revolver el café diariamente, por lo menos cuatro veces, procurando hacerlo en direcciones diferentes. Realizar esta labor con cuidado, para evitar daños en la cubierta plástica. No pisar el café ni permitir que animales de la finca lo hagan. 5. Evitar la mezcla de lotes de café de diferentes días. Utilizar un listón de madera para separar el café de cada día; entre otros (Oliveros *et al.*, 2013).

Para el año 2020, en Perú se realizó la investigación estimar la humedad del café pergamino al emplear un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos. Los modelos

empleados fueron del tipo regresión lineal múltiple y regresión no lineal, los mismos que fueron determinados con los softwares R y Curve Expert Professional, respectivamente. Los datos necesarios, para estimar dichos modelos, fueron recolectados en campo durante cinco días, lo cual consistió en aplicar el secador solar automatizado en la parcela de un agricultor del centro poblado de las Naranjas, Jaén, Cajamarca, Perú, cuya variedad fue Catimor. Se determinaron cinco modelos: Un modelo de regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales con un coeficiente de correlación mayor que 0,91. Sin embargo, el modelo propuesto y empleado por Kaplanis y Kaplani (2007), es el que mejor describe el comportamiento de la humedad del grado de café pergamino en términos del tiempo de secado en el secador solar automatizado empleando el estadístico de bondad de ajuste (Quiñones *et al.*, 2020).

Finalmente, para el año 2022, desarrollaron la investigación “*Secado solar de café usando diferentes tipos de cubiertas plásticas*” de acuerdo con los autores, recientemente, se ha incrementado el uso de cubiertas plásticas de color azul para realizar el secado solar del café, argumentando que sus propiedades ópticas tienen beneficios sobre la calidad en taza; sin embargo, su efecto sobre la misma es desconocido. Esta investigación determinó el efecto de cinco tipos de cubiertas plásticas diferentes, sobre la calidad sensorial y tiempos de secado realizando procesos de secado solar de manera simultánea mediante un diseño experimental de bloques completo al azar, utilizando café procedente de la Estación Experimental Naranjal. Como resultados, la investigación determinó que la calidad en taza obtuvo un promedio de 81,4 puntos bajo la metodología de la Specialty Coffee Association (SCA) y que el análisis de varianza no mostró diferencias significativas por efecto del uso de las diferentes cubiertas plásticas. Se presentaron diferencias en el tiempo de secado, siendo de hasta 40 horas menor para el testigo respecto a las cubiertas azul y naranja (Peñuela *et al.*, 2022).

En este sentido, el proceso de diseñar un equipo de secado se basa en determinar el tipo, las dimensiones y las características que permitan eliminar agua de un material, hasta parámetros deseados, en un tiempo dado. Se pueden definir dos técnicas para secar: secado solar o natural y secado artificial o mecánico (Ruíz, 1998). Por lo tanto, para efectos de este proyecto, se tiene como objetivo desarrollar un secador solar de café con control y monitoreo de temperatura, en la finca La Rubiela de la vereda El Macal, en el municipio de Pitalito, Huila, con el cual, se espera mitigar las problemáticas de aumento en la capacidad y disminución en el tiempo del secado en el secador preexistente en el predio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Secuencia Metodológica**

En la figura 1 se presenta la secuencia metodológica realizada para efectos de este proyecto de pasantía realizada en la finca La Rubiela, durante un periodo comprendido entre el 29/09/2022 y el 20/09/2023, en la cual, de acuerdo con los objetivos planteados se desarrolló un secador solar activo para solucionar las diferentes problemáticas encontradas, una de ellas, la eficiencia de secado respecto al secador preexistente en la finca. El proyecto se inició con la determinación de la zona de estudio donde se implementó el proyecto. Una vez seleccionada y caracterizada la zona de estudio se procedió al diseño y modelado en 3D con ayuda del software sketchUp Pro 2022 de la estructura con el fin de determinar las características constructivas y el presupuesto total de obra. Una vez realizado el presupuesto,

se llevó a cabo la construcción del secador solar activo propuesto para luego ponerlo en funcionamiento y así poder medir las diferentes variables ambientales y variables físicas del grano bajo las nuevas características, con el objetivo de evaluar tanto la eficiencia del secado como las características organolépticas finales respecto al secador propuesto y el preexistente. Finalmente, como se esperaba, se pudo determinar el análisis integral de la eficiencia del secador solar activo propuesto como variable resultante o de salida.

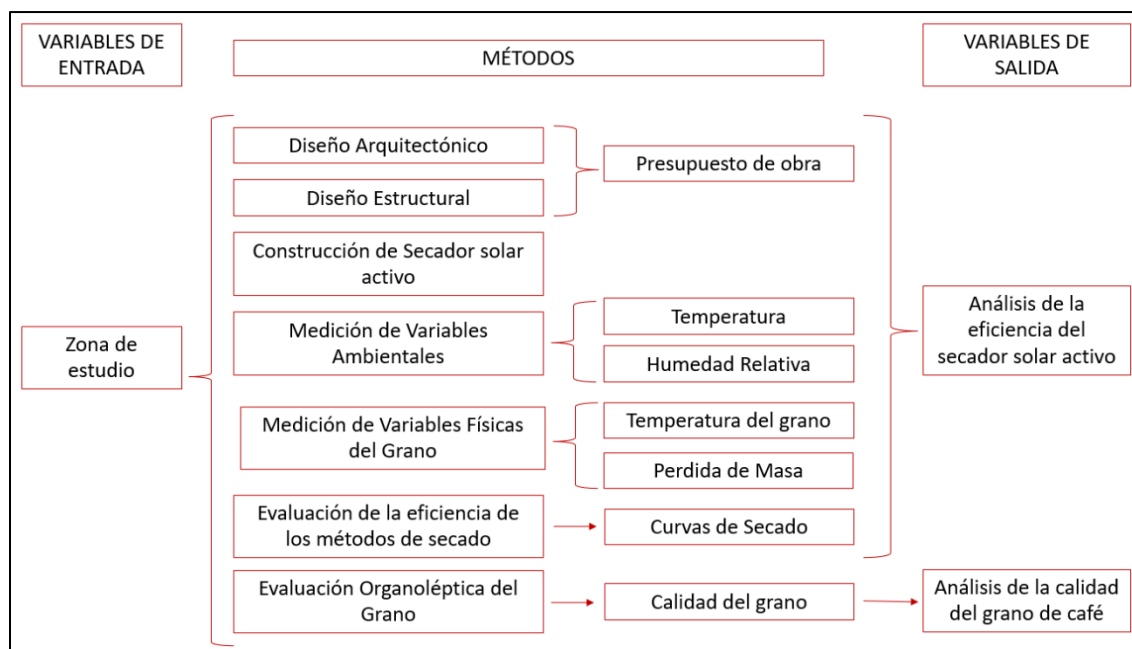


Figura 1. Secuencia metodológica.

## Localización

La zona seleccionada para la implementación del secador propuesto en este trabajo fue la finca La Rubiela, ubicada de acuerdo con Vargas (2023) en las coordenadas geográficas 1°48'35.76"N 76° 1'58.44"O y perteneciente a la vereda el Macal del municipio de Pitalito, al sur del departamento del Huila, Colombia (anexo 1). De acuerdo con la Alcaldía de Pitalito (2015), el clima del municipio es húmedo con variaciones térmicas durante todo el año, predominando así el clima templado entre unos 18 a 21 °C. Hacia la mitad del año, en los meses de mayo, junio y julio, se presenta un periodo húmedo moderado, alcanzando así temperaturas hasta de 12 a 14 °C (Muñoz y Galíndes, 2019).

## Diseño Arquitectónico

### Ubicación

De acuerdo con Oliveros *et al.*, (2009), debe escogerse un lugar expuesto al sol, retirado por lo menos 5 m de sitios donde se generan olores fuertes como gallineros, marraneras, fosas de pulpa, establos y pozos sépticos, entre otros, olores que pueden ser absorbidos por el café y que lo contaminan. Debido al diseño del secador, no es indispensable disponer en la finca de un terreno plano para ubicarlo, ya que puede seleccionarse un lugar con alguna pendiente que no dificulte su construcción y operación. El secador debe orientarse, longitudinalmente, de sur a norte para que los rayos del sol actúen de manera perpendicular al plástico usado como

cubierta, durante todas las horas del día y se pueda aprovechar mejor la radiación solar y el viento (Oliveros *et al.*, 2009).

### **Encuesta**

Para efectos de este proyecto de grado, se requirió la implementación de un cuestionario estructurado que ayuda a diagnosticar el estado general del proceso de secado de café llevado a cabo en la finca La Rubiela, con el fin de determinar los requerimientos arquitectónicos y estructurales del nuevo secador solar activo a partir de las necesidades actuales y futuras presentes en el predio.

### **Estructura**

Para la práctica de secado se necesita un espacio para ser calentado, limitado por la estructura, que, a la vez, soporta el material semitransparente de la cubierta y las paseras donde irá el café. Debe ser resistente y de unas dimensiones apropiadas, ya que, si es demasiado grande, se pierde poder de secado (Besora, 2017). Así mismo, Ramírez y otros, (2002) sostiene que para la construcción de secadores pueden ser utilizados materiales de fácil consecución en las regiones cafeteras.

En este sentido, el guadúa (*Guadua angustifolia kunth*), el bambú de América, ha influenciado el desarrollo de la cultura colombiana, principalmente en la Región Andina y de manera particular en el sector cafetero, a través de su aprovechamiento en todo tipo de estructuras (Osorio *et al.*, 2010). De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2016), la guadúa sobresale entre otras especies de su género por las propiedades estructurales de sus tallos, como la relación peso – resistencia (similar o superior al de algunas maderas), siendo incluso comparado con el acero y con algunas fibras de alta tecnología, considerando que la capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, hace que esta especie de bambú sea un material ideal para construcciones sismo resistentes.

### **Cubierta**

Para que la radiación solar entre a la cámara de secado y se produzca el efecto invernadero, se necesita que sea resistente a la intemperie y los rayos del sol (Besora, 2017). Así mismo, Peñuela *et al.* (2022) determinaron diferencias en el tiempo de secado de acuerdo con el tipo de cubierta plástica utilizada a partir de su color, siendo de hasta 40 horas menor para el testigo respecto a las cubiertas azul y naranja.

### **Paseras**

De acuerdo con Besora (2017), esta parte es donde irán colocados los granos de café a secar. Se requiere que sean lo menos pesadas posible y que tengan el fondo agujereado para el correcto paso del agua y el aire. Normalmente constituidas por un marco y una malla como fondo.

### **Monitoreo y Control**

El control de variables ambientales como temperatura y humedad relativa, es de esencial importancia en procesos en los cuales la toma de decisiones depende estrictamente del comportamiento de estos parámetros (Meléndez, 2008). De igual forma, Otálora (2014) demostró que el uso de ventiladores en secadores solares logra un flujo desarrollado y

difundido a lo ancho de la sección transversal de entrada del secador, lo que mejora la eficiencia de la máquina, pues permite aprovechar mejor la energía absorbida por el colector.

Para el control del ambiente interno del secador, se dispuso de un equipo controlador de temperatura y registro de humedad relativa del aire, el cual permitía activar 6 ventiladores y 2 extractores. El criterio de activación es el siguiente: Si la temperatura del aire es igual a 45 °C se activan los equipos y permanecen encendidos hasta que la temperatura sea igual o inferior a 30 °C. El anterior rango de temperatura fue establecido para no alcanzar la temperatura máxima de secado de 50 °C recomendada por Pabón y Osorio (2019) para café lavado, y evitar inconvenientes generados por ataque de microorganismos durante el secado descritos por Puerta (2013).

### **Diseño Estructural**

Para el diseño estructural del secador propuesto se tuvo en cuenta la normatividad pertinente para el caso del país (Colombia), principalmente el reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010) en sus títulos C “*concreto estructural*” y título G “*estructuras de madera y estructuras de guadua*”.

### **Presupuesto de Obra**

A partir de lo descrito tanto en el diseño arquitectónico como en el modelado 3D se procedió a cuantificar las cantidades de materiales propuestos en los diseños; una vez obtenidas las cantidades, se procedió a cotejar los diferentes contratos encontrados en la página del Sistema Electrónico de Contratación Pública de Colombia (2023) “*Portal SECOP I*” y locales comerciales “*ferreterías*” existentes en el municipio de Pitalito para determinar el análisis de los precios unitarios y el presupuesto total de la obra.

### **Construcción del Secador Solar Activo**

Para la elaboración y puesta en marcha del secador propuesto se desarrollaron las diferentes fases de construcción detalladas en el presupuesto de obra desde la fecha 23/10/2022 hasta la fecha 12/01/2023.

### **Medición de Variables Ambientales**

Para la medición de las variables ambientales externas del secador preexistente y el secador propuesto (temperatura media diaria en °C y humedad relativa media diaria en %) fue necesario la utilización de un termohigrómetro marca Tersmost referencia STC-3028 ubicado a 2 metros en la zona exterior de ambos secaderos; el registro de datos se llevó a cabo en serie de tiempo diaria desde el día 29/09/2022 hasta el día 07/10/2022 (para el caso del secador preexistente) y desde el día 08/08/2023 hasta el día 19/08/2023 (para el caso del secador propuesto) y registrando datos tres veces al día (en horas de la mañana, a medio día y en la tarde). Respecto a las variables ambientales internas (temperatura media diaria en °C, y humedad relativa media diaria en %), para el secador preexistente fue necesaria la utilización de dos termohigrómetros marca Mettler Toledo referencia HTC-2, ubicados dentro del secador (uno por cada punto de muestreo a 0.9 m de la superficie de la muestra), mientras que para el secador propuesto fue necesaria la utilización de 8 termohigrómetros marca Mettler Toledo referencia HTC-2 ubicados dentro del secador (uno por cada punto de muestreo a 0.9 m de la superficie de la muestra), el registro de datos se

llevó a cabo en serie de tiempo diaria desde el día 29/09/22 hasta el día 06/10/22 (para el caso del secador preexistente) y desde el día 08/08/2023 hasta el día 19/08/2023 (para el caso del secador propuesto) y registrando datos tres veces al día (en horas de la mañana, a medio día y en la tarde).

### **Medición de Variables Físicas del Grano**

De acuerdo con la Organización Internacional de Normalización para la determinación de humedad en el grano en porcentajes de humedad menores a 25% se debe utilizar la metodología descrita en la Norma ISO 6673 del 2003, en donde se expone que el tiempo de secado de las muestras requerido en el horno no podrá ser mayor a 16 horas. Para humedades mayores a 25%, el Ministerio de Agricultura (2009) expone que el tiempo de secado de las muestras en el horno no debe superar las 24 horas. Para las dos normas expuestas anteriormente la temperatura constante requerida en el horno de convección forzada deberá ser de 105 °C (ISO, 2003).

### **Secador Preexistente**

La toma de datos de las variables termofísicas del grano in situ (temperatura y humedad del grano) se realizó por medio de un termómetro digital infrarrojo marca Medellín Electrónica modelo GM-320 y una balanza digital marca Constant modelo 14192-157B. La medición tanto de humedad como de temperatura del grano se realizó tres veces al día (en horas de la mañana, a medio día y en la tarde) todos los días durante un periodo comprendido entre 29/09/2022 y el 07/10/2022.

Respecto al seguimiento de la variable física del grano tomada en laboratorio (pérdida de humedad) fue necesario el transporte de una muestra representativa de 200 g por punto de muestreo (2 muestras de 10 g por cada punto para el ingreso al horno) todos los días desde el día 29/09/2022 hasta el día 07/10/2022 desde la finca La Rubiela hasta el horno de convección forzada existente en el laboratorio de ciencias básicas de la Universidad Surcolombiana, sede Pitalito. Así mismo, se usó una balanza digital del mismo laboratorio. Para el transporte del grano fue necesario el almacenamiento en bolsas con cierre hermético y puesta en nevera de Icopor portátil para reducir la pérdida de humedad durante su transporte.

### **Secador Propuesto**

La toma de datos de las variables termofísicas del grano in situ (temperatura y humedad del grano) se realizó por medio de la utilización del termómetro digital infrarrojo marca Medellín Electrónica modelo GM-320 y una balanza digital marca Constant modelo 14192-157B. El muestreo tanto de humedad como de temperatura del grano se realizó tres veces al día (en horas de la mañana, a medio día y en la tarde) todos los días durante un periodo comprendido entre 08/08/2023 y el 19/08/2023.

Respecto al seguimiento de la variable físicas del grano tomada en laboratorio (pérdida de humedad) fue necesario el transporte de una muestra representativa de 200 g por punto de muestreo (2 muestras de 10 g por cada punto para el ingreso al horno) todos los días, desde el día 08/08/2023 y el 19/08/2023, desde la finca La Rubiela hasta el horno de convección forzada existente en el laboratorio de ciencias básicas de la Universidad Surcolombiana, sede Pitalito, así mismo, se hizo uso de una balanza digital existente en el mismo laboratorio. Para

el transporte del grano fue necesario el almacenamiento en bolsas con cierre hermético y puesta en nevera de Icopor portátil para reducir la pérdida de humedad durante su transporte.

### **Evaluación de la Eficiencia Térmica de Secado**

Para la determinación de la eficiencia térmica se utilizó en ambos casos (secador preexistente y secador propuesto) la metodología guiada por Olguin y Durán (2017), Tiwaria *et al.* (2013) y Monrudee *et al.* (2011), descrita en las ecuaciones 1 y 2.

$$N_s = \frac{(W_o - W_t) * L_v}{(H_t * A_c) + P_v} \quad (1)$$

Donde:  $N_s$ = eficiencia del secador solar;  $W_o$ = peso del material inicial (kg);  $W_t$ = peso del material en el tiempo t (kg);  $L_v$ = calor latente de vaporización del agua en el café pergamino ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ );  $H_t$ = radiación horaria incidente sobre la superficie inclinada del colector ( $\text{kJ m}^{-2}$ );  $A_c$ = área del colector ( $\text{m}^2$ );  $P_v$ = consumo de energía por los ventiladores (kJ).

$$L_v = (2502.4 - 2.42958 * T) * [1 + 1.44408 \exp(-21.5011M)] \quad (2)$$

Donde:  $L_v$ = calor latente de vaporización del café pergamino ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ );  $T$ = temperatura del café ( $^{\circ}\text{C}$ );  $M$ = contenido de humedad del café, decimal (bs).

### **Evaluación física y sensorial del Grano**

Para la determinación de la evaluación física y sensorial del grano de café obtenido en cada uno de los secadores (preexistente y propuesto) fue necesario remitir muestras de 400 gramos extraídas de cada secador hasta el laboratorio *Glop Coffee Company SAS* ubicado en el municipio de Pitalito, los días 17/10/2022 para el caso del secador preexistente y el día 25/08/2023 para el caso del secador propuesto y con una humedad final después del secado del grano del 11.7% y 12.0%, respectivamente. El reporte de análisis físico y sensorial fue llevado a cabo con un analista físico y un catador, los cuales evaluaron a cada muestra 10 atributos diferentes: fragancia/aroma, sabor, retrogusto, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y puntaje general. La variedad de café que se usó para la toma de datos tanto para el secador preexistente como el secador propuesto fue la variedad de café Castillo Tambo, dado que se tiene un área mayor de producción en comparación con las otras variedades de café en la finca La Rubiela.


## RESULTADOS

### Diseño Arquitectónico

#### Cuestionario

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la encuesta realizada al señor Luis Armando Mamian (propietario del predio) sobre el estado y las proyecciones que se tienen respecto al secador preexistente y al secador nuevo dispuestos para la postcosecha del grano de café producido en la finca, como se puede observar, se hará necesario el diseño del secador propuesto con unas medidas de largo y ancho iguales a las del secador preexistente debido a que no se dispone de más espacio, sin embargo, como se proyectan aumentos en la producción futura, se deberá idear un diseño que aumente la capacidad de secado y que a su vez permita aumentar la eficiencia de secado respecto al secador preexistente, ayudando a disminuir los tiempos de secado y mejorando las condiciones organolépticas del grano.

TABLA 1. Cuestionario.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA				
Sede	Pitalito	Fecha		
Encuesta de proyección de producción cafetera			Predio	Finca La Rubiela
Propietario	Luis Armando Mamian	Encuestado	Luis Armando Mamian	
¿Cuántas hectáreas sembradas de café hay en el predio?		3 ha.		
¿Qué variedades de café posee?		Caturra, Castillo tambo, Catimore, Cenicafé 1.		
¿Cuánta es la producción máxima durante el año?		16 cargas secas* ha/año 2000 kg ha/año		
¿A cuánto se planea aumentar la producción de café?		20 cargas secas* ha/año.		
¿En qué se seca actualmente el café producido?		En secadero tipo camión.		
Descripción general del secador preexistente		Es un secador de 12 metros de largo por 5.5 metros de ancho, con una altura máxima de 1.8 metros, construido con guadua, tabla y plástico. De acuerdo al área y contando con el espacio existente solo se pueden obtener 6.6 cargas de café seco.		
¿Cuánto tiempo se demora secando el café?		Dependiendo los días cálidos que se presenten, entre 9 días a 15 días.		
¿Cuánto espacio se tiene para el nuevo secador?		La misma área del secador existente. 12 metros de largo por 5.5 metros de ancho.		
¿En cuánto tiempo se espera secar el café con el nuevo secador?		Por lo menos que el tiempo sea inferior durante el clima cálido: entre 9 o 10 días.		

## **Ubicación**

La construcción e implementación del secador propuesto se realizó en las coordenadas 1° 48' 35.76" N, 76° 1' 58.44" O (mismo lugar donde se encontraba el secador solar preexistente antes de ser demolido) con una orientación de 349° N, a partir de lo expresado por Oliveros *et al.*, (2006), el secador se encuentra ubicado en una zona alejada de espacios y construcciones que puedan generar impactos sobre las futuras características del café tales como gallineros, porquerizas, zonas de beneficio del café, entre otras. Debido a que el terreno presentaba una topografía con pendiente pronunciada (mayor al 30%) fue necesario precisar de adecuaciones del terreno.

## **Estructura**

A partir de los resultados obtenidos en el cuestionario respecto a la producción actual y las proyecciones generadas y esperadas por el cultivo en el predio, se diseñó mediante el programa AutoCAD y Sketchup un secadero de tipo camión en guadua (semiparabólico), madera y concreto, con un área total de 202 m<sup>2</sup> y una altura máxima de 6.0 m dividido en tres pisos, considerando las siguientes zonas del secador de abajo hacia arriba: el primer piso se diseñó con la intención de ser utilizada como zona de almacenamiento, ya que es la zona libre de cerramiento con longitudes de 5.6 m de ancho, 12 de largo y 2.0 m de alto; el segundo piso se diseñó como zona de secado la cual cuenta con longitudes de 5.6 m de ancho, 12 de largo y 2.0 m de alto, este piso en su interior cuenta con dos entrepisos (disposición de paseras) denominados piso 2 inferior y piso 2 superior; el tercer piso se diseñó como zona de secado, con longitudes de 5.6 m de ancho, 12 de largo y 2.0 m de alto, ver anexo 24.

La estructura se planteó en dirección de abajo hacia arriba, con un primer piso en suelo compactado y un muro de contención ubicado en el lado este de la construcción, con longitudes de 5.8 m de ancho y 1.70 m de alto en ladrillo macizo, el segundo y tercer piso se diseñaron en tabla con longitudes 0.25 m de ancho, 3 m de largo y 0.02 m de espesor ; para el acceso al segundo y tercer piso se diseñaron dos escaleras con longitudes de 0.7 m de ancho en tablonetes de madera y polín; el segundo y tercer piso cuentan con pasillos de tránsito con longitudes de 0.8 m de ancho y 12 de largo.

## **Cubierta**

La cubierta del secadero propuesto se diseñó en lona ProSolar, calibre de 190 g/cm<sup>2</sup> de color azul, soportada sobre el total de la estructura.

## **Paseras**

A partir de la cantidad total de producto a secar obtenido durante la encuesta (20 cargas secas\* ha/año) y el espacio disponible, se diseñaron 4 paseras para secado ubicadas en el segundo piso: 2 paseras a una altura de 0.0 m con longitudes de 2 m de ancho y 12 m de largo y 2 paseras a una altura de 0.8 m con longitudes de 2 m de ancho y 10.5 m de largo; y 2 paseras para secado ubicadas a 1 m de altura en el tercer piso: una pasera con longitudes de 2 m de ancho y 12 m de largo y una pasera con longitudes de 2 m de ancho y 10.5 m de largo. Todas las paseras se diseñaron con marcos de guadua y tabla y base de malla polisombra Saran al 60% de densidad.

## MONITOREO Y CONTROL

Respecto al monitoreo y control se determinó la implementación de 6 ventiladores de pared Kalley k-vap26w negro con 3 aspas de 26" de diámetro, 1 extractor de aire de 17" industrial aspa metálica, 1 controlador de temperatura y humedad, higrómetro STC – 3028, 8 termohigrómetros digitales con sonda de temperatura y humedad HTC2, 1 balanza digital marca Constant modelo 14192-157B y 1 termómetro digital de infrarrojo.

## Diseño Estructural

A partir del diseño arquitectónico se elaboraron los diferentes planos que describen la disposición de todos los elementos estructurales de la obra como se describe en la tabla 2 y anexos 2 al 4, teniendo en cuenta las dosificaciones y materiales utilizados en la ejecución del contrato 052 de 2020 realizado por (Sandoval Castro, 2020) con el fin de asegurar los requisitos mínimos de construcción dispuestos por la NSR-10. Siendo este contrato un referente en cuanto costos de materiales en obras civiles.

*TABLA 2. Descripción de diseño estructural del secador propuesto.*

ÍTEM	CARACTERÍSTICAS
General	Se siguieron las disposiciones expuestas en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 en sus títulos C (concreto estructural) y título G (estructuras de madera y estructuras de guadua).
Zapata	Disposición de 6 zapatas en concreto armado de 3000 psi y acero de refuerzo de $F_y$ 60000 psi con dimensiones de 0.2 m de alto, 0.6 m de ancho y 0.6 m de largo y 1 zapata en concreto armado de 3000 psi y acero de refuerzo de $F_y$ 60000 psi con dimensiones de 0.4 m de alto, 0.6 m de ancho y 0.75m de largo.
Pedestal	Disposición de 6 pedestales en concreto de 3000 psi con dimensiones de 0.4 m de alto, 0.4 m de ancho y 0.4 m de largo decorado con ladrillo a la vista.
Columna	Disposición de 1 columna en concreto armado de 3000 psi y acero de refuerzo de $F_y$ 60000 psi con dimensiones de 1.52 m de alto, 0.15 m de ancho y 0.18 m de largo, 1 columna en concreto armado de 3000 psi y acero de refuerzo de $F_y$ 60000 psi con dimensiones de 2.00 m de alto, 0.15 m de ancho y 0.18 m de largo, 1 columna en concreto armado de 3000 psi y acero de refuerzo de $F_y$ 60000 psi con dimensiones de 2.00 m de alto, 0.15 m de ancho y 0.20 m de largo.
	Disposición de 9 columnas en guadua tradicional preservada por inmersión en bórax y pentaborato con diámetro medio de 0.12 m y unidas mediante varilla roscada de 3/8" (cada columna está compuesta por cuatro guaduas), con dimensiones de 1.73 m de largo.
Muro de contención	Disposición de 1 muro de contención con longitudes de 5.8 m de ancho y 1.70 m de alto en mampostería de ladrillo macizo con dimensiones de 0.28 m de largo, 0.14 m de ancho x 0.09 m de espesor.
Viga	Disposición de 12.9 metros lineales en vigas de guadua tradicional preservada por inmersión en bórax y pentaborato con diámetro medio de 0.12 m unidas mediante varilla roscada de 3/8"
Cubierta	Disposición de 1 cubierta tipo túnel con correas en guadua (cada correa dispone dimensiones 0,03 m de ancho y 12 m de largo) espaciadas cada 1 metro y lona ProSolar con calibre de 190 g/cm <sup>2</sup> de color azul.

## **Presupuesto de obra**

A partir de los diseños y modelados en 3D efectuados durante el diseño arquitectónico y estructural se determinaron las cantidades, valores unitarios y valores parciales para cada ítem descrito en el anexo 5, los valores unitarios se obtuvieron a partir del contrato 052 de 2020 realizado por (Sandoval Castro, 2020) y obtenido mediante la plataforma SECOP I (2023) y la cotización de materiales en ferreterías ubicadas en el municipio de Pitalito. Debido a que el secador propuesto fue construido en el mismo lugar que el secador propuesto no fue necesario la disposición de recursos para ítems como preliminares (descapote, ubicación y replanteo), entre otros.

El subtotal de los costos directos de la obra fue de \$ 17.482.390,13 pesos colombianos, el subtotal de los costos indirectos (30% de los costos directos) fue de \$ 5.244.717,04 pesos colombianos para obtener finalmente un costo total de la obra de \$ 22.727.107,17 pesos colombianos.

## **Construcción del secador propuesto**

La construcción del secador propuesto se llevó a cabo durante un periodo comprendido entre el 23/10/23 y el 12/01/24. En el anexo 6 se presenta el cronograma seguido para los distintos ítems de construcción, desde la elaboración y aplicación del solado de limpieza hasta la implementación de los equipos tecnológicos para el registro y seguimiento de las distintas variables ambientales y físicas del grano.

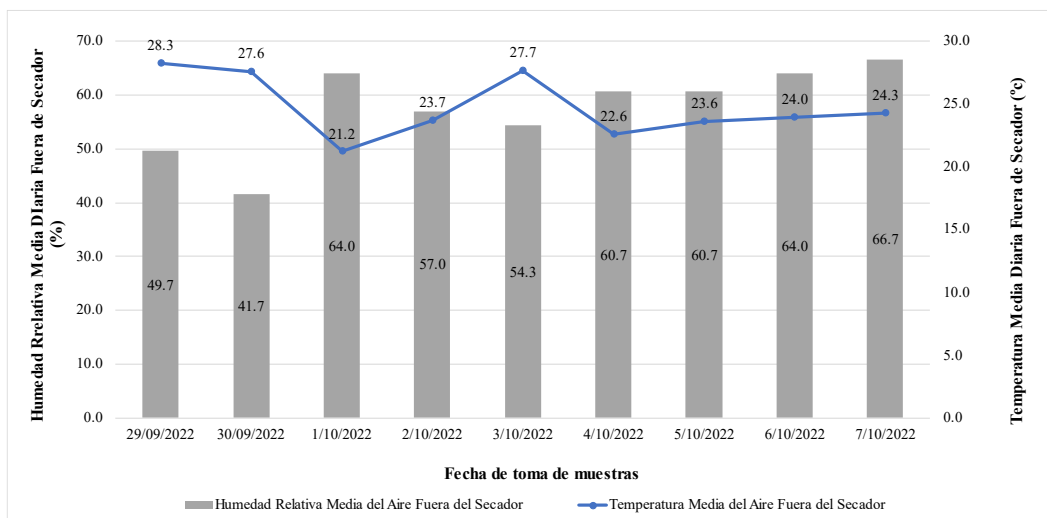
## **Medición de Variables Ambientales**

### **Secador Preexistente**

En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos durante el seguimiento a las variables ambientales externas al secador preexistente. En el eje Y izquierdo se presenta la humedad relativa media del aire durante cada día del análisis, en % y representada en la serie de tiempo por barras grises con el valor numérico registrado en la parte media de cada barra. En el eje Y derecho se presenta la temperatura media del aire durante cada día del análisis, en °C y representada en la serie de tiempo por una línea azul con el valor numérico registrado en la parte superior de cada punto. Finalmente, en el eje X se presenta la serie de tiempo de registro de las variables comprendido entre el 29/09/2022 y el 07/10/2022. Se puede observar que la humedad relativa fluctuó entre el 41.7% (30/10/2022) y el 66.7% (07/10/2022). Así mismo, se puede observar que la temperatura fluctuó entre los 21.2 °C (02/10/2022) y los 28.3 °C (29/09/2022).

El comportamiento de ambas variables evidenció que por debajo de los 24 °C se presentaron condiciones de humedad relativa superiores al 60% exceptuando el día 02/10/2022, el cual registro una humedad relativa del 57% respecto a una temperatura de 23.7 °C y el día 07/10/2022, el cual registró una humedad relativa del 66.7% respecto a una temperatura de 24.3 °C. Este comportamiento se presentó durante 6 de los 9 días evaluados, mientras que, durante los 3 días restantes se presentaron condiciones en donde la humedad relativa se mantuvo por debajo del 55% respecto a temperaturas por encima de los 27.5 °C.

**FIGURA 2.** Variables ambientales externas al secador preexistente presentadas durante el tiempo de evaluación



En el anexo 7 se presentan los resultados obtenidos para la variable de humedad relativa del aire, en porcentaje, de las muestras evaluadas dentro del secador preexistente, la figura presenta nueve subfiguras en donde se muestra el comportamiento que se registró durante cada día de evaluación; cada subfigura muestra en el eje Y la humedad relativa en porcentaje, mientras que el eje X muestra el registro de cada muestra evaluada.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se pudo determinar en primera instancia que las medias de comportamiento de las muestras M1SA (Muestra 1 Secador Preexistente) y M2SA (Muestra 2 Secador Preexistente) variaron mínimamente durante los nueve días registrados, las muestras presentaron una diferencia media del 0.11% de humedad en los valores registrados a las 9:00 am, los valores registrados a la 1:00 pm y 4:00 pm no registraron variaciones, lo que señala que las muestras mantuvieron dentro del secador una humedad relativa del aire homogénea durante el día, la mayor parte del tiempo.

Así mismo, se pudo determinar que, respecto a la humedad relativa del aire registrada en el exterior del secador (figura 2), los registros internos tuvieron una elevación significativa, produciéndose un aumento máximo de 13.5% el día 29/09/22 y durante los primeros seis días se presentó un aumento medio de 7.75%, sin embargo, durante los días 05 y 06 /10/22, se presentó una disminución de la humedad interna respecto a la externa de 3% y 5%, respectivamente, y durante el último día se presentó un aumento nuevamente del 1% en la humedad interna respecto a la externa. Lo anterior, muestra claramente que los materiales y diseño del secador preexistente ayudaron en el aumento de la humedad relativa del aire la mayor parte del tiempo de registro.

En el anexo 8, se presentan los resultados obtenidos para la variable de temperatura del aire, en °C, de las muestras evaluadas dentro del secador preexistente, la figura presenta nueve subfiguras en donde se muestra el comportamiento que se registró durante cada día de evaluación; cada subfigura muestra en el eje Y la temperatura en °C, mientras que el eje X muestra el registro de cada muestra evaluada.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se pudo determinar, en primera instancia, que las medias de comportamiento de las muestras M1SA y M2SA, al igual que la humedad

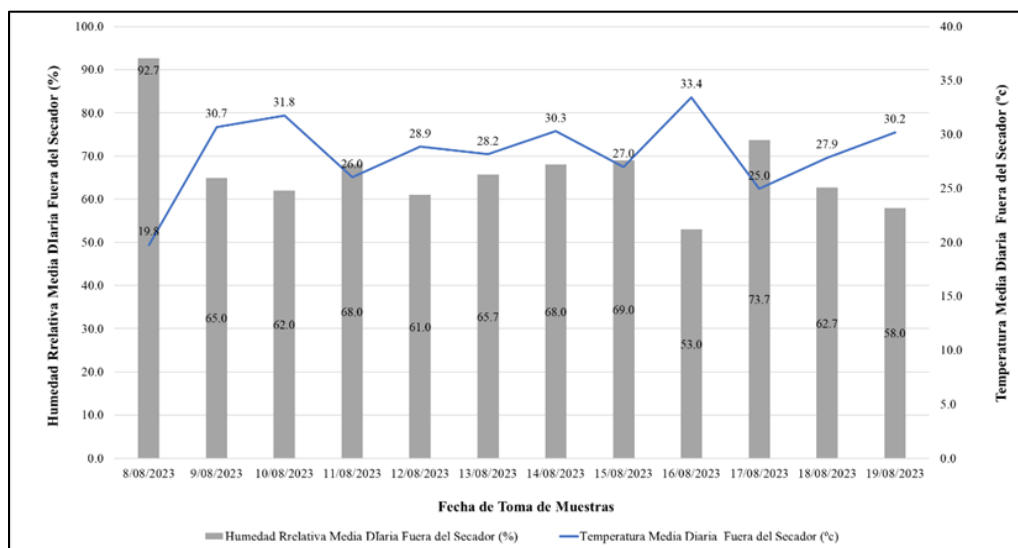
relativa, variaron mínimamente durante los nueve días registrados; las muestras presentaron una diferencia media de 0.12 °C en los valores registrados a las 9:00 am, 0.04 °C en los valores registrados a la 1:00 pm y en los valores registrados a las 4:00 pm no se registraron variaciones, lo que señala que las muestras mantuvieron dentro del secador una temperatura del aire homogénea durante el día, la mayor parte del tiempo.

Así mismo, se pudo determinar que, respecto a la temperatura del aire registrada en el exterior del secador, los registros internos tuvieron una elevación significativa durante todos los días evaluados, produciéndose un aumento máximo de 10.05 °C el día 03/10/22 y en general, un aumento medio de 5.76 °C, durante los nueve días. Al igual que para la variable de humedad relativa del aire, lo anterior muestra claramente que los materiales y diseño del secador preexistente ayudaron en el aumento de la temperatura del aire durante todo el tiempo de registro.

### Secador Propuesto

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos a partir del registro de datos ambientales exteriores al secador propuesto, la serie de tiempo que comprendió la recolección de datos in situ fue desde el 08/08/2023 hasta el 19/08/2023. En la figura se presenta en el eje X las fechas de toma de muestras, mientras que en el eje izquierda se presenta la humedad relativa media diaria, en porcentaje y, en el eje derecho se presenta la temperatura media diaria, en grados Celsius.

**FIGURA 3.** Variables ambientales externas al secador propuesto presentadas durante el tiempo de evaluación



Se puede observar que durante el periodo de evaluación las humedades relativas fueron muy altas, teniendo picos máximos de hasta un 92.7% y mínimos que no bajaron del 53%, lo cual genera una diferencia amplia respecto a los datos registrados durante la evaluación del secador preexistente, en donde los máximos de humedad no alcanzaron el 70% y donde los mínimos llegaron hasta un 41.7%. Respecto a la temperatura, se puede observar que fluctuó entre los 19.8 °C y los 33.4 °C.

El comportamiento de ambas variables evidenció que por debajo de los 26 °C se presentaron condiciones de humedad relativa superiores al 68% y por encima de los 26 °C se presentaron condiciones de humedad relativa inferiores al 68%.

En los anexos 9, 10 y 11 se presentan los resultados obtenidos para la variable de humedad relativa del aire, en porcentaje, de las muestras evaluadas dentro del secador propuesto (MSP). A partir del análisis de los resultados obtenidos, se pudo determinar que las medias de comportamiento registradas a las 9:00 am para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 7.53%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 una diferencia media del 7.45% y desde MSP13 hasta MSP18 del 5.37%. Las medias de comportamiento registradas a la 1:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 10.00%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 una diferencia media del 10.14% y desde MSP13 hasta MSP18 del 6.08%. Finalmente, las medias registradas a las 4:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6, presentaron una diferencia media del 8.46%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 una diferencia media del 7.22% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 del 6.38%.

De igual forma, en los anexos 12, 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos para la variable de temperatura del aire, en grados Celsius sobre las muestras evaluadas dentro del secador propuesto. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se pudo determinar que las medias registradas a las 9:00 am para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 5.94%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 1.97% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.06%. Las medias registradas a la 1:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 1.79%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 2.17% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.26%. Finalmente, las medias registradas a la 4:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 1.44%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 1.86% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.17%.

Respecto a la variable de temperatura del grano, en los anexos 15, 16 y 17 se presentan los resultados obtenidos para las 18 muestras evaluadas dentro del secador propuesto. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se pudo determinar que las medias registradas a las 9:00 am para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 1.64%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 1.91% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.01%. Las medias registradas a la 1:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 1.79%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 2.24% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.48%. Finalmente, las medias de comportamiento registradas a la 4:00 pm para las muestras desde MSP1 hasta MSP6 presentaron una diferencia media del 2.08%; las muestras desde MSP7 hasta MSP12 presentaron una diferencia media del 3.29% y las muestras desde MSP13 hasta MSP18 presentaron una diferencia media del 2.71%.

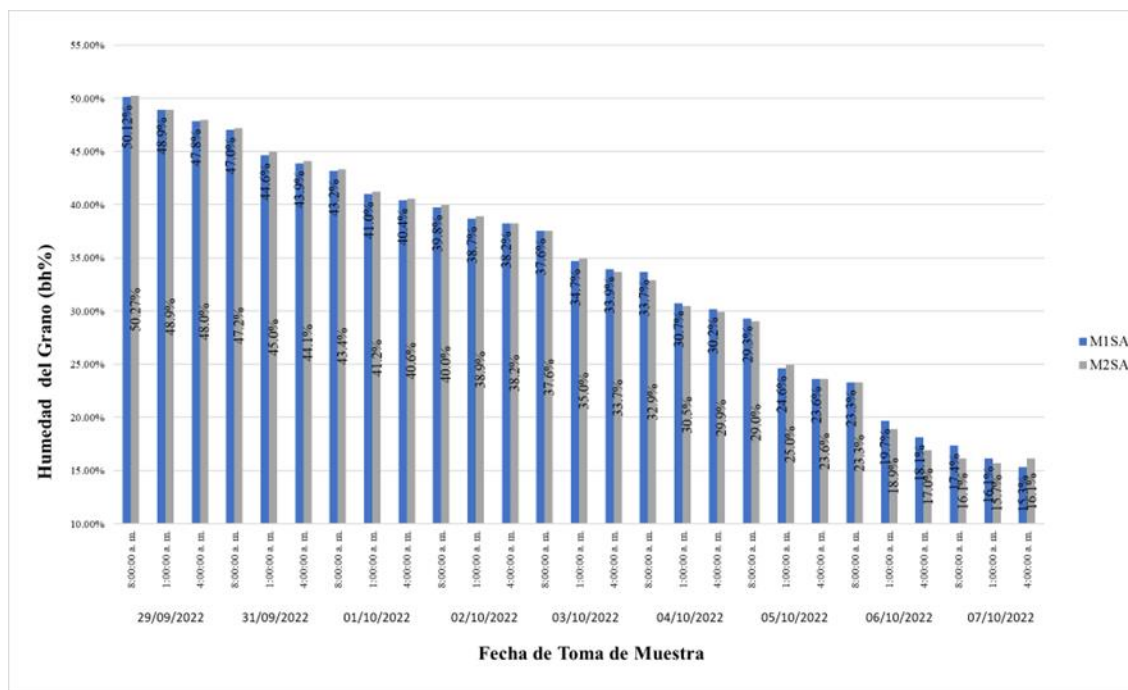
## Medición de Variables Físicas del Grano

### Secador Preexistente

En la figura 4 se presentan los resultados obtenidos para la variable de pérdida de humedad (en base húmeda) del grano In Situ, en porcentaje (%), registrados sobre las muestras (M1SA y M2SA) en el secador preexistente. En el eje Y se presentan los rangos de humedad, en % y en el eje X se presentan las series de tiempo determinadas (hora y fecha) para el registro de cada muestra evaluada.

Se puede observar que las muestras M1SA y M2SA iniciaron con un porcentaje de humedad similar, 50.12% y 50.17%, respectivamente. Los registros mostraron que diariamente, la mayor pérdida de humedad se presentó en horas del mediodía (1:00 pm) con una pérdida de humedad media de 2.38 %, de igual forma, se observó que durante los primeros seis días las muestras tuvieron una pérdida de humedad media de 2.79%, sin embargo, durante los dos últimos días, las muestras tuvieron una pérdida de humedad acelerada, evidenciando pérdida media del 5.46% el día 05/10/22 y del 6.03% el día 06/10/22, este efecto puede estar relacionado con los resultados mostrados en los anexos 7 y 8, los cuales evidenciaron que aunque la temperatura dentro del secador aumentó respecto a la temperatura exterior todos los días evaluados, la humedad relativa del aire dentro del secador disminuyó durante los dos últimos días respecto a la humedad relativa del aire al exterior al secador, lo cual pudo generar este aumento en la pérdida de humedad. Sumado a lo anterior, también se determinó que para el ultimo día se presentó un rehumedecimiento, ya que el grano M2SA pasó de una humedad del 15.7% a medio día a una humedad de 16.1% en horas de la tarde.

FIGURA 4. Pérdida de humedad del grano In Situ, en el secador preexistente.



Aunque las muestras registradas el día 07/10/22 presentaron una humedad de 15.3% y 16.1% (M1SA y M2SA, respectivamente) in situ, en el laboratorio presentaron una humedad del

12.08% y 12.12% (M1SA y M2SA, respectivamente) por lo cual se justificó la finalización en el registro de la variable debido a que se alcanzó la humedad requerida.

### **Secador Propuesto**

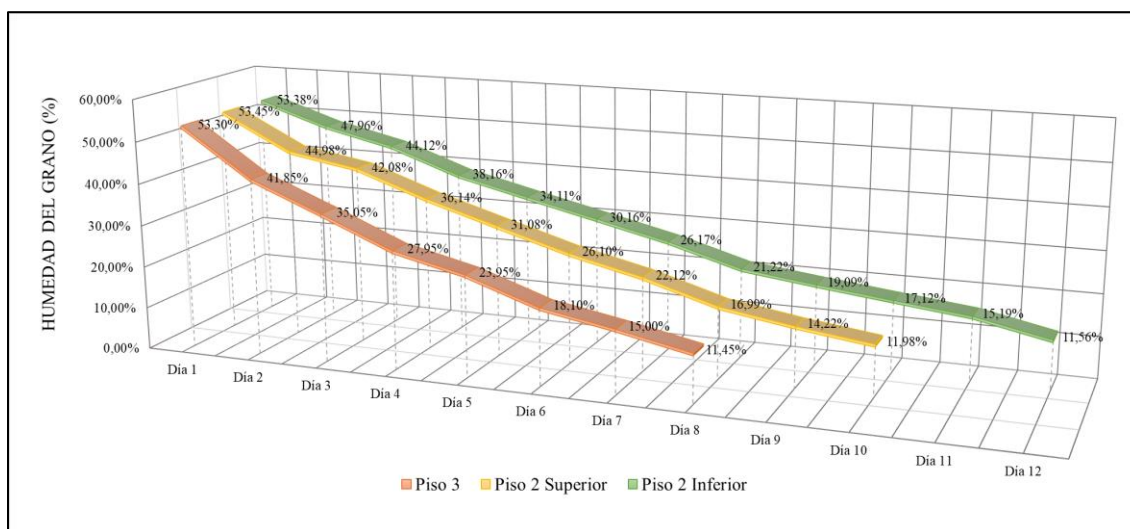
Los análisis de laboratorio respecto a la pérdida de humedad del grano en el tercer piso (anexo 18) mostraron que las seis muestras evaluadas (MSP1 a MSP6) iniciaron con una humedad de entre el 53.3% y el 53.55% el día 1 (08/08/2023), durante los ocho días de análisis las muestras presentaron diferencias mínimas en los porcentajes de humedad registrados, lo cual demuestra que las condiciones ambientales del tercer piso generaron un entorno que propició un secado homogéneo en esta subárea de secado.

Respecto a los análisis realizados en el segundo piso, se tuvo en cuenta que dos de las cuatro paseras estaban instaladas a una elevación de 0.8 m sobre el suelo (segundo piso superior, desde la muestra MSP7 hasta la muestra MSP12) y que las dos paseras restantes estaban sobre el suelo entablado (segundo piso inferior; desde la muestra MSP13 hasta la muestra MSP18), esto es importante ya que, como se muestra en el anexo 19, las muestras presentaron diferencias en la pérdida de humedad.

En el anexo 19 se puede observar que todas las muestras iniciaron con una humedad entre el 53.35% y el 53.55% el día 1 (08/08/2023), muy similares respecto a las muestras evaluadas en el tercer piso. Durante los días de evaluación se pudo observar que la pérdida de humedad en las muestras de la MSP7 a la MSP13 (segundo piso superior) fue mucho más acelerado que las muestras del segundo piso inferior (de la MSP14 a la MSP18), sin embargo, también se pudo observar que el comportamiento de las muestras ubicadas en las paseras del segundo piso superior tuvieron diferencias mínimas entre ellas, fenómeno que se produjo de igual forma en las muestras ubicadas en las paseras del segundo piso inferior; lo anterior muestra que las condiciones ambientales internas del secador en esta zona (segundo piso) propiciaron una pérdida de humedad homogénea a una altura de 0.8 m y a una altura de 0.0 m, pero que, también propiciaron unas condiciones en la pérdida de humedad de manera heterogénea entre las paseras ubicadas a una altura diferente (superior e inferior).

En la figura 5 se presenta la pérdida de humedad del grano (en % base húmeda) obtenida en el laboratorio mediante el método de la estufa. En el eje X se presenta el tiempo, mientras que en el eje Y se presenta la humedad del grano en % base húmeda.

**FIGURA 5.** Comportamiento en la pérdida de humedad del grano en las muestras.



Se puede observar que las muestras de grano evaluadas en cada uno de los pisos (piso 3 y piso 2) y los entrepisos (piso 2 superior y piso 2 inferior) presentaron una humedad inicial similar, con una media del 53,3% para las muestras del piso 3 (MSP1-MSP6), del 53,45% para las muestras del segundo piso superior (MSP7-MSP12) y del 53,38% para las muestras del segundo piso inferior (MSP13-MSP18), lo cual, aseguró unas condiciones iniciales homogéneas para llevar a cabo la evaluación; debido a las condiciones internas desarrolladas en el tercer piso, los granos evaluados presentaron una pérdida de humedad acelerada respecto a las evaluadas en el piso 2, disminuyendo su humedad inicial (53,3%) a la humedad ideal (11,45%) en solo ocho días, respecto a las muestras del segundo piso superior, estas disminuyeron su humedad inicial (53,45%) hasta la humedad ideal (11,98%) en 10 días, dos días más que las muestras del tercer piso. Finalmente, las muestras evaluadas en el segundo piso inferior fueron las que más tardaron en llegar a la humedad ideal, tomando un tiempo total de 12 días desde la humedad inicial (53,38%) hasta la humedad idónea (11,56%).

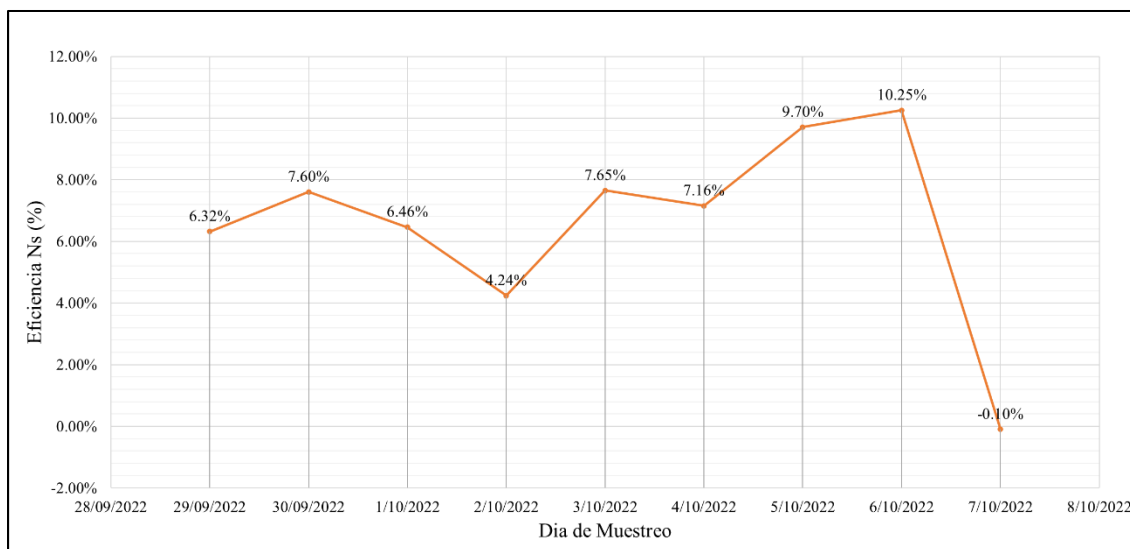
Lo anterior muestra que: 1. Las condiciones de infraestructura del secador propiciaron unas condiciones internas las cuales ayudaron a que el secador solar propuesto disminuyera los tiempos de secado del grano, pasando de nueve a ocho días desde la humedad inicial hasta la humedad ideal respecto al secador solar preexistente; 2. Las condiciones de infraestructura del secador propiciaron unas condiciones internas las cuales generaron un comportamiento doble en el segundo piso, ya que, aunque se presentó un comportamiento homogéneo entre las muestras del segundo piso superior y un comportamiento homogéneo entre las muestras del segundo piso inferior (lo cual aseguró un secado uniforme en cada subpiso), también se presentó un comportamiento heterogéneo entre ambos subpisos (segundo piso superior y segundo piso inferior), lo cual produjo una diferencia de dos días en los tiempos de secado; 3. Aunque las muestras evaluadas en el segundo piso registraron un tiempo de secado mayor respecto al secador preexistente y al tercer piso del secador propuesto, ayudó a aumentar la capacidad de secado pasando de 840 kg en el secador preexistente a 1688 kg en el secador propuesto; además, se puede tener la opción de disminuir el tiempo de secado pasando las muestras del segundo piso (tomando el segundo piso como zona de presecado) al tercer piso (tomando el tercer piso como zona de secado final).

## Evaluación de la Eficiencia Térmica de Secado

### Secador Preexistente

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos para la variable de eficiencia térmica del secador solar, en porcentaje (%) evaluada en el secador preexistente. En el eje Y se presentan los rangos de eficiencia ( $N_s$ ) medida en % y en el eje X se presentan el tiempo (fecha) de registro.

**FIGURA 6.** Eficiencia térmica del secador preexistente.

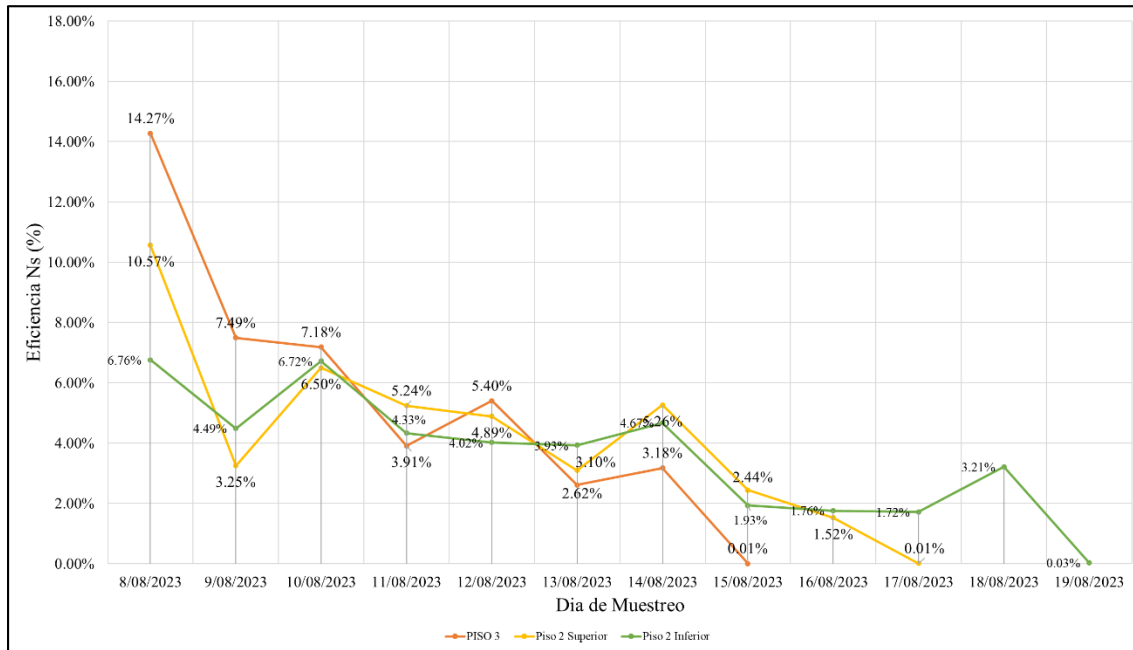


A partir del análisis de los resultados obtenidos se pudo establecer que la eficiencia máxima generada en el secador fue de un 10.25% el día 06/10/22, sin embargo, durante la mayor parte de los días evaluados (5 de los 9 días) la eficiencia se mantuvo por encima del 6.3% y por debajo del 7.65%, lo cual evidenció un secado del grano medianamente uniforme; los días 2/10/22 y 5/10/22 presentaron unos picos de eficiencia del 4.24% y 9.70%, respectivamente. Por último, el valor registrado más bajo se presentó el último día de muestreo, para este día (7/10/22) la eficiencia presentó un valor negativo del -0.1%, lo cual concuerda con los resultados encontrados en la figura 4, en donde se observó que, para esta fecha, las condiciones ambientales generadas en el secador produjeron un rehumedecimiento en el grano.

### Secador Propuesto

En la figura 7 se presentan los resultados obtenidos para la variable de eficiencia térmica del secador solar, en porcentaje (%), registrados sobre las muestras en cada uno de los 3 pisos del secador propuesto (piso 3, piso 2 superior y piso 2 inferior). En el eje Y se presentan la eficiencia ( $N_s$ ) medida en % y en el eje X se presentan el tiempo (fecha) para el registro de cada muestra evaluada.

FIGURA 7. eficiencia de secado en el secador solar.



Los resultados obtenidos mostraron que el piso 3 presentó la mayor eficiencia de todo el secador (14.27%), lo cual generó un aumento en la eficiencia del 4.02% respecto a la máxima registrada en el secador preexistente. Así mismo, los granos evaluados en el piso 3 tuvieron un tiempo de secado máximo de 8 días bajo unas condiciones de eficiencia no menores al 2.62%, exceptuando el último día (18/08/23), el cual presentó una eficiencia del 0.01%, sin embargo, este último valor se debió a que la hora de toma de registro se realizó a menos de 6 horas de la toma anterior, debido a que se había alcanzado la humedad del grano necesaria para terminar con el proceso de secado y evaluación. Respecto al piso 2, en ambas localidades (piso 2 superior y piso 2 inferior) las eficiencias máximas variaron en un 3.81% (piso 2 superior=10.57% y piso 2 inferior=6.76%), así mismo, se pudo observar que durante la mayoría de los tiempos (6 días) el piso 2 superior mantuvo un comportamiento de mayor eficiencia de secado que el piso 2 inferior, fenómeno que también se presentó en el piso 3 respecto al piso 2 superior y 2 inferior. Respecto al tiempo total de secado, se pudo evidenciar que a partir de las mayores eficiencias presentadas en el piso 2 superior, los granos evaluados en este pudieron llegar a una humedad idónea en solo 10 días, dos días más que en el piso 3 y dos días menos que en el piso 2 inferior.

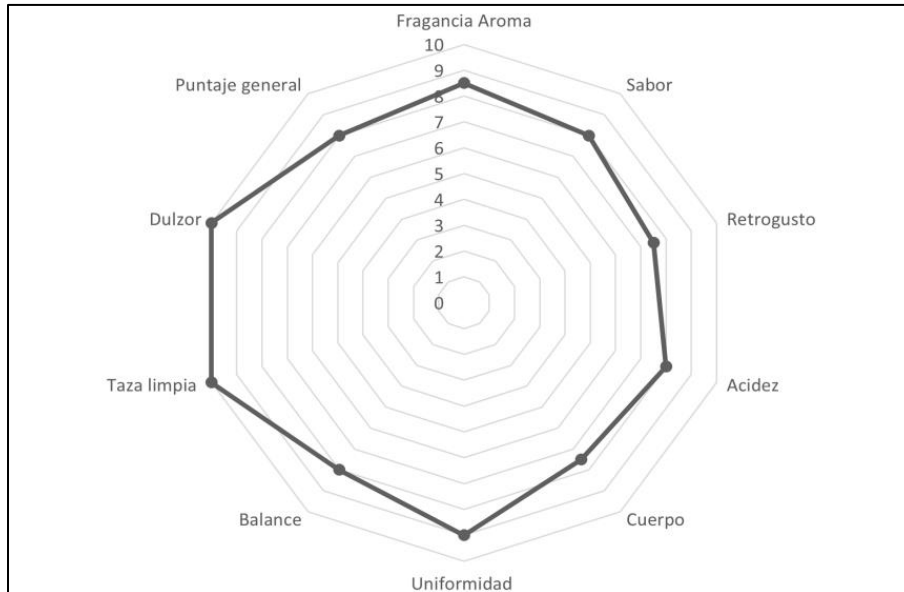
A nivel general, la eficiencia térmica generada en el secador solar propuesto presentó un comportamiento similar en los movimientos de las curvas de secado, teniendo sus picos máximos el primer día de evaluación y siguiendo un comportamiento muy parecido a pesar de las diferencias en % presentadas.

### Evaluación Sensorial del Grano

En la figura 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos para cada una de los 10 atributos evaluados en las muestras de granos de café del secador preexistente y el secador propuesto, respectivamente. Para el caso del secador preexistente, bajo unas condiciones de humedad del grano de 11.7%, se determinó en las muestras una fragancia y aroma intensa, con una

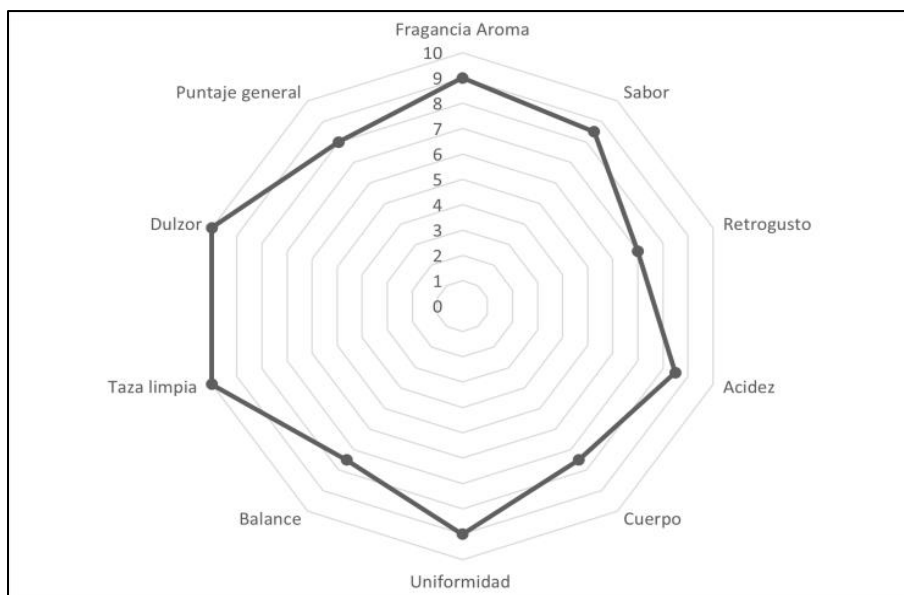
acidez media alta y cuerpo medio, característico del café colombiano en notas a naranja, residual intensidad media cítrico y caramelo. El resultado de la puntuación general SCA de las muestras fue de 8 (anexo 20 y 21).

**FIGURA 8.** Evaluación sensorial del café del secador preexistente.



Para el caso del secador propuesto, bajo unas condiciones de humedad del grano de 12%, se determinó en las muestras un dulzor medio, una acidez media y un cuerpo medio con notas tradicionales a café colombiano de panela, cítrico y caramelo. El resultado de la puntuación general SCA de las muestras fue de 8 (anexo 29 y 30).

**FIGURA 9.** Evaluación sensorial del café del secador propuesto.



## **CONCLUSIONES**

Considerando tanto las condiciones topográficas y ambientales como los requerimientos en el aumento de la producción del grano de café seco solicitados por la empresa y el mejoramiento en la eficiencia del proceso de secado, se diseñó y construyó un secador solar de tres pisos. Este nuevo secador tiene la capacidad de secar 1687.5 kg de grano de café húmedo en camadas simultáneas en tiempos máximos de 8, 10 y 12 días (tercer piso, segundo piso superior y segundo piso inferior, respectivamente), mejorando significativamente la capacidad y eficiencia de secado en comparación con el secador preexistente.

El secador propuesto presentó mejoras sustanciales en capacidad y tiempo de secado en comparación con el secador preexistente, aumentando la capacidad y velocidad de secado de 840 kg de grano húmedo en 9 días a 1687.5 kg en un máximo de 12 días. Además, se evidenció un mejor rendimiento en términos de eficiencia térmica de secado, con eficiencias máximas de 14.27%, 10.57% y 6.76% en cada uno de los pisos del secador propuesto, en comparación con la eficiencia máxima de 10.25% del secador preexistente. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del nuevo diseño en la optimización del proceso de secado del café.

## **RECOMENDACIONES**

Los equipos electrónicos deben tener un aislamiento adecuado, para protegerlos de humedades y fluctuaciones de temperatura, siendo el tercer piso el área con temperatura más alta. De igual manera, es importante que los equipos y cableado eléctrico se encuentren con buenas conexiones para evitar un corto circuito y esto genere un incendio, dadas las características de los materiales del secador.

Mantenimiento regular, realizar un mantenimiento regular de los equipos electrónicos para asegurar su buen funcionamiento y prolongar su vida útil. Esto incluye la limpieza periódica, la inspección de cables y conexiones, y la calibración de sensores y controles.

Para efectos de aumentar la temperatura en las áreas del segundo piso, es necesario la implementación de un intercambiador de calor; teniendo en cuenta que para ello se tendrá un aumento en el consumo de energía eléctrica. Por lo anterior, se analizaría la viabilidad de estos equipos, junto con el uso de energía solar fotovoltaica que es un tipo de energía renovable.

En la recolección de datos, se recomienda la implementación de equipos electrónicos que guarden la información diaria dentro y fuera del secador, con el fin de poder evaluar el comportamiento del mismo y realizar mejoras al proyecto.

Recomendaciones en cuanto al uso del secador, es importante tener en cuenta que, con las puertas cerradas, las temperaturas en el tercer piso superan los 50 °C, por lo tanto, se debe ingresar en horas de la mañana u horas de la tarde, o en efecto, cuando los ventiladores se encuentren encendidos.

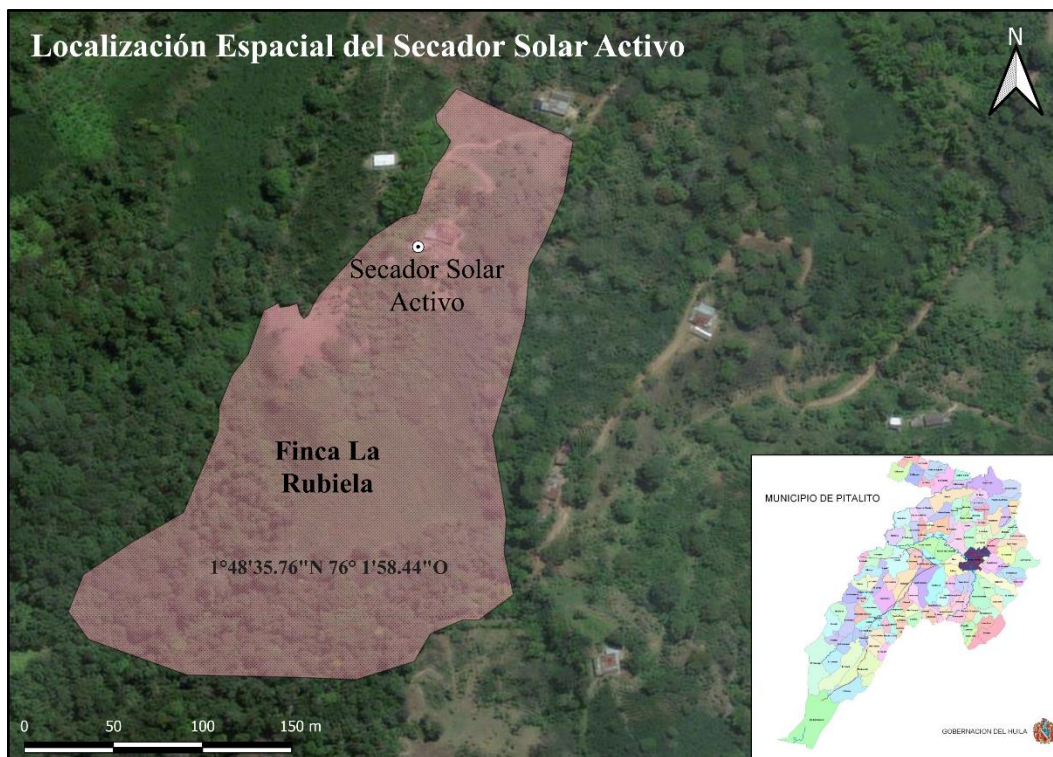
## REFERENCIAS

- Agronet. (2023). *Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alcaldía de Pitalito. (2015). *Ruta de cambio de Pitalito 2030: consiente y comprometido con el cambio climático*.
- Alcaldía Municipal de Pitalito. (2022). *Informe agropecuario del municipio de Pitalito, Huila*. [https://alcaldiapitalito.gov.co/publicaciones/Cifras\\_Agropecuario.pdf](https://alcaldiapitalito.gov.co/publicaciones/Cifras_Agropecuario.pdf)
- Besora Magem, J. (2017). *Informe técnico para la construcción de un secador solar de café*.
- Cabrera, L., & Mora, F. (2009). *Diseño de un secador para café (tipo silo) en el municipio de Teruel-Huila y evaluación de prototipo a escala 1.10*.
- Cenicafé. (2006). *Paseras solares de bajo costo para secar café*. [https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla\\_21\\_Secado\\_del\\_cafe.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21_Secado_del_cafe.pdf)
- Cenicafé. (2009). *Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método Gravimet*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/380/1/avt0345.pdf>
- Cruz, D., Lopez, E., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 104(3–4), 125–138. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12895/jaeid.20103/4.15>
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 6673:2003, Green coffee - Determination of loss in mass at 105 degrees C. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:38375:en>
- Meléndez-Poltronieri, R. (2008). *Sistema autónomo de medición de variables de temperatura y humedad relativa en un secador solar para madera con capacidad de transmitir los datos vía USB a un dispositivo flash*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Norma Sismo Resistente colombiana NSR-10: Título C. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Norma Sismo Resistente colombiana NSR-10: Título G. Bogotá, Colombia.
- Ministério da Agricultura, P. A. (2009). Regras para análisis de sementes. *Secretaria de Defesa Agropecuária*.
- Monrudee, B. M., Lertsatitthanakorn, C., Wiset, L., & Poomsaad, N. (2011). Performance analysis and economic evaluation of a greenhouse dryer for pork drying. *Kku Engineering Journal*, 38(4), 433–442.
- Muñoz, C., & Galíndes, D. M. (2019). *Factores de cambio portadores de futuro para el municipio de Pitalito Huila*.

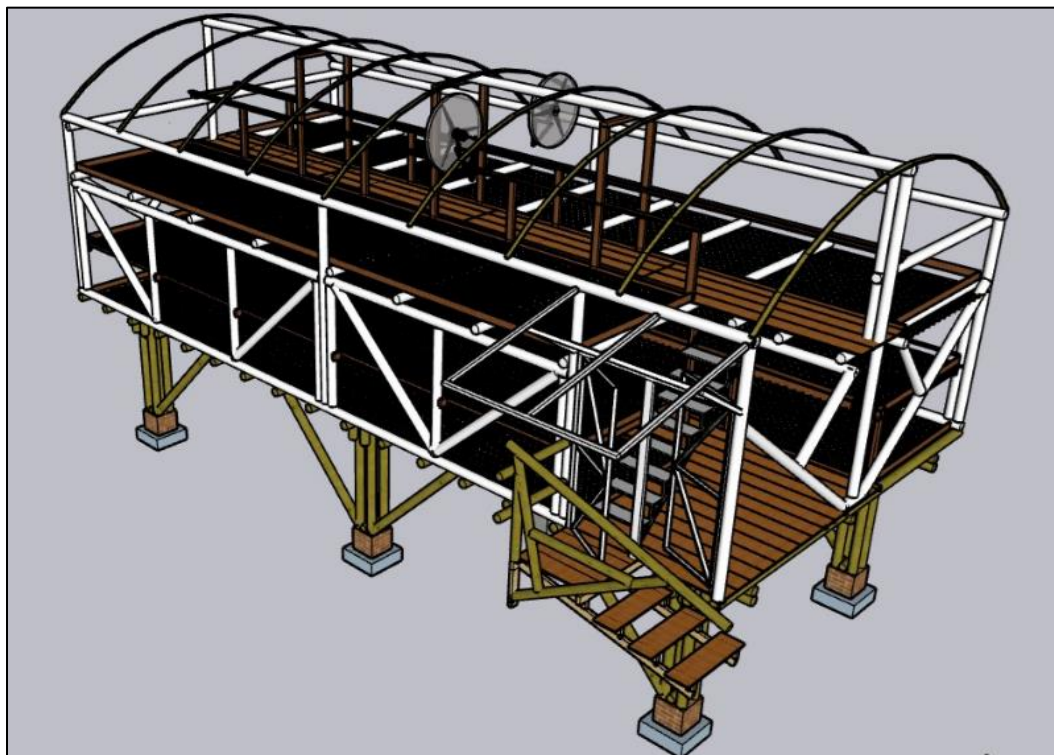
- Olguin, J., & Durán, R. (2017). Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 321–331.
- Oliveros Tascón, C. E., Peñuela Martínez, A. E., & Jurado Chana, J. M. (2009). *controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método Gravimet.*
- Oliveros Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Pabón, J. (2013). Secado solar y secado mecánico del café. *Manual Del Cafetero Colombiano: Investigación y Tecnología Para La Sostenibilidad de La Caficultura*, 3, 49–80.
- [https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_29](https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_29)
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Peñuela-Martínez, A. (2006). *Secador solar de túnel para café pergamino.*
- Osorio-Saraz, J. Alexander., Gonzalez-Castrillon, Eugenia., & Cortes-Marin, E. Alonso. (2010). *La guadua: fundamentos para el diseño de estructuras agropecuarias.* Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- Otálora Ortega, H. Y. (2014). *Mejora del flujo de aire dentro de un secador solar tipo Hohenheim para aumentar la transferencia de calor y masa.*
- Pabón, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. In Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 162–187). Cenicafé.
- 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>
- Puerta, G. I. (2013). *La humedad controlada del grano preserva la calidad del café.* Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Quiñones Huatangari, L., Barzola Cárdenas, A., Vásquez Ochoa, B., Pérez Guevara, I., & Díaz Torres, M. (2020). Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú. *TECNIA*, 30(1), 107–113.
- <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.824>
- Ramírez Gómez, C. A., Oliveros Tascón, C. E., & Roa Mejía, G. (2002). Construya el secador solar parabólico. *Avances Técnicos Cenicafé*, 305.
- Ruiz M, S. (1998). Diseño de una planta de secado de café y evaluación del sistema de guardiola. *Universidad Surcolombiana*, 99–100.
- Sánchez, O., & Gahona, J. (2018). Prototipo secado y volteo de cafés especiales aprovechando las energías renovables. *Universidad Piloto de Colombia.*

- Sandoval Castro, D. H. (2020). *Convocatoria Pública No. 001 de 2020*. Construcción de una (1) bodega tipo industrial para el almacén y suministros en la E.S.E. hospital departamental San Antonio de Pitalito departamento del Huila. <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=20-1-208268>
- Sistema Electrónico de Contratación Pública de Colombia (2023). Portal SECOP I. <https://www.contratos.gov.co/consultas/inicioConsulta.do>
- S. Kaplanis y E. Kaplani, “A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation  $I(h;n_j)$  values”, *Renew. Energy*, vol. 32, n°. 8, pp. 1414-1425, jul. 2007.
- Tiwaria, G., Katiyara, V. K., Dwivedia, V., Katiyarb, A. K., & Pandeyb, C. K. (2013). A comparative study of commonly used solar dryers in India. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(3), 994–999.
- Vargas, F. (2018). Modelo de comercialización para los caficultores del municipio de Pitalito Huila asociados a la cooperativa CADEFIHUILA, que permita generar valor agregado en mercados Internacionales. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.

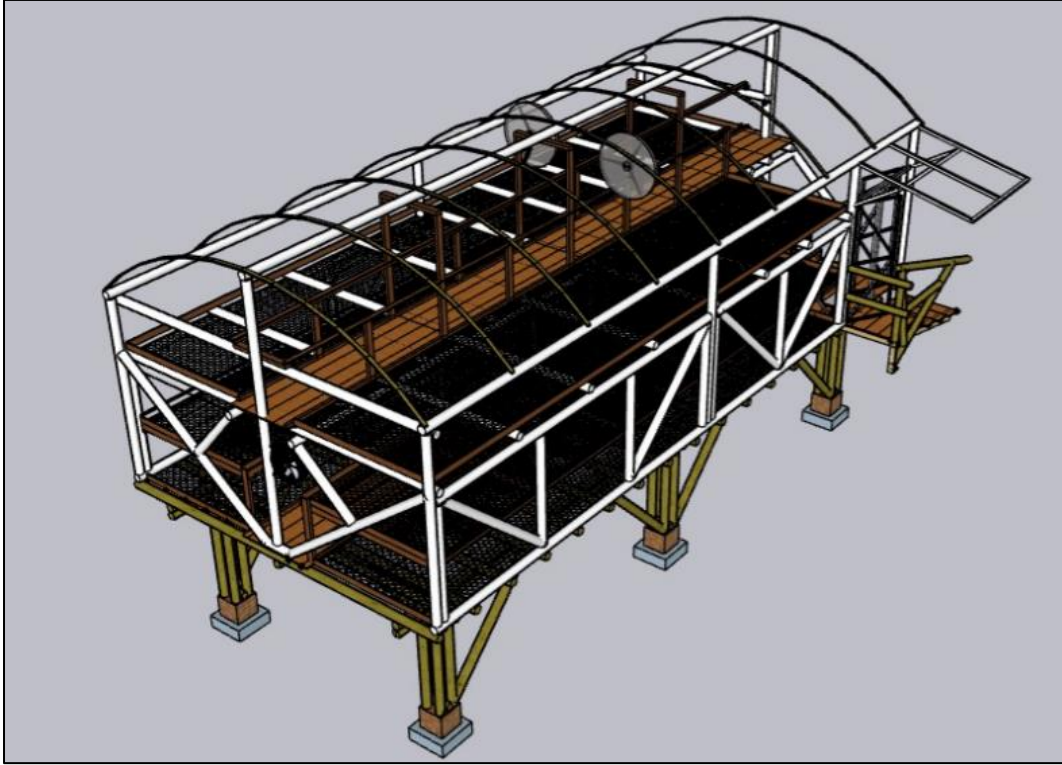
## ANEXOS



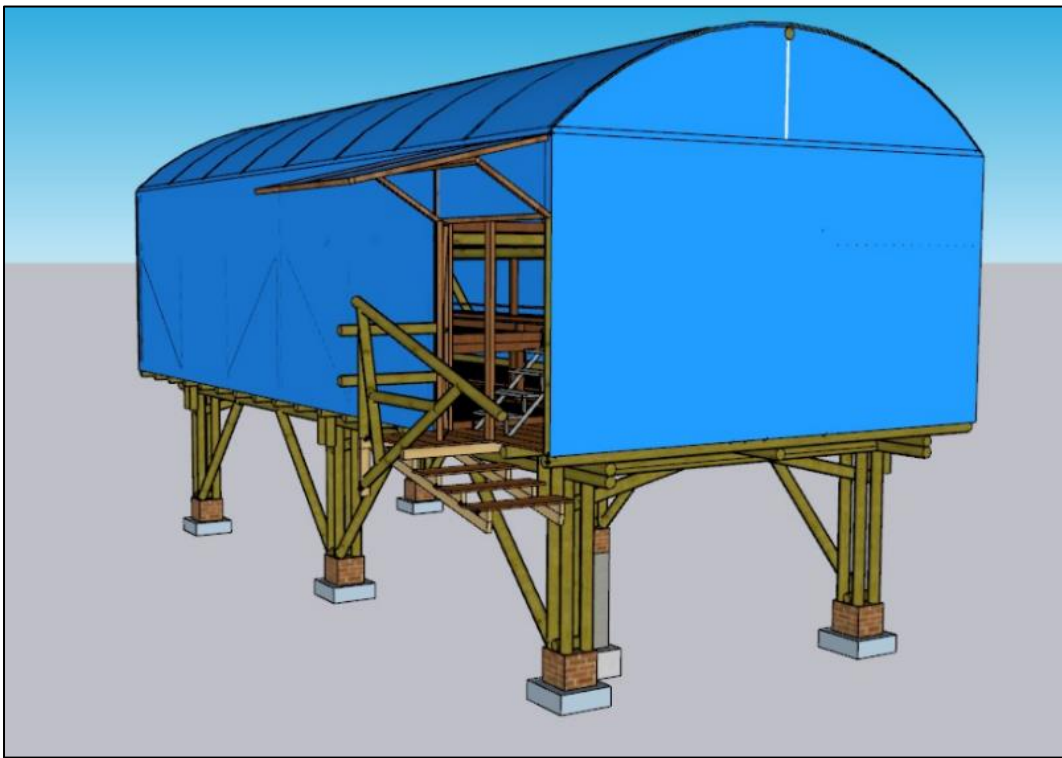
*ANEXO 1. Localización del proyecto.*



*ANEXO 2. Diseño arquitectónico 1 de la estructura.*



*ANEXO 3. Diseño arquitectónico 2 de la estructura.*

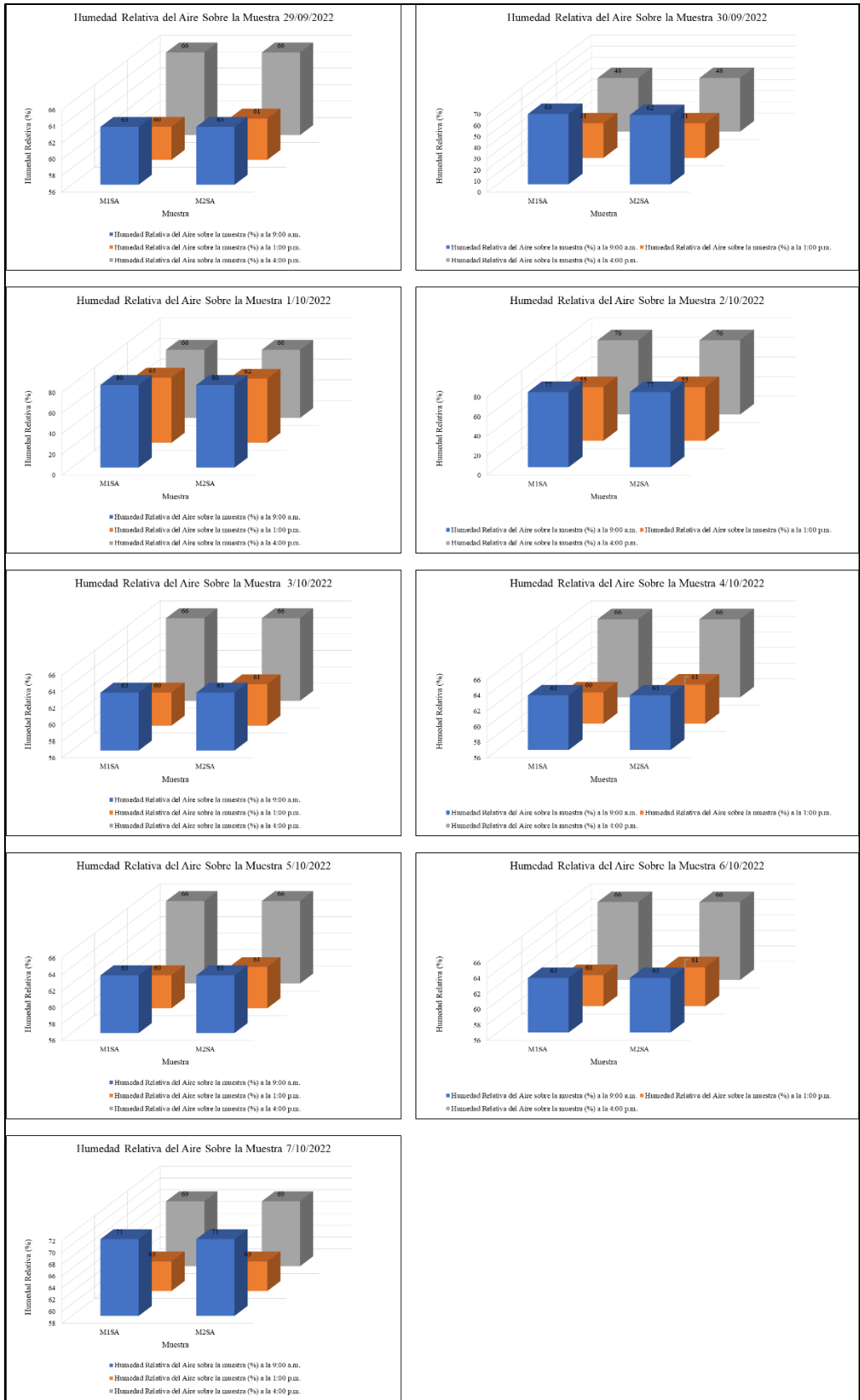


*ANEXO 4. Diseño arquitectónico 3 de la estructura.*

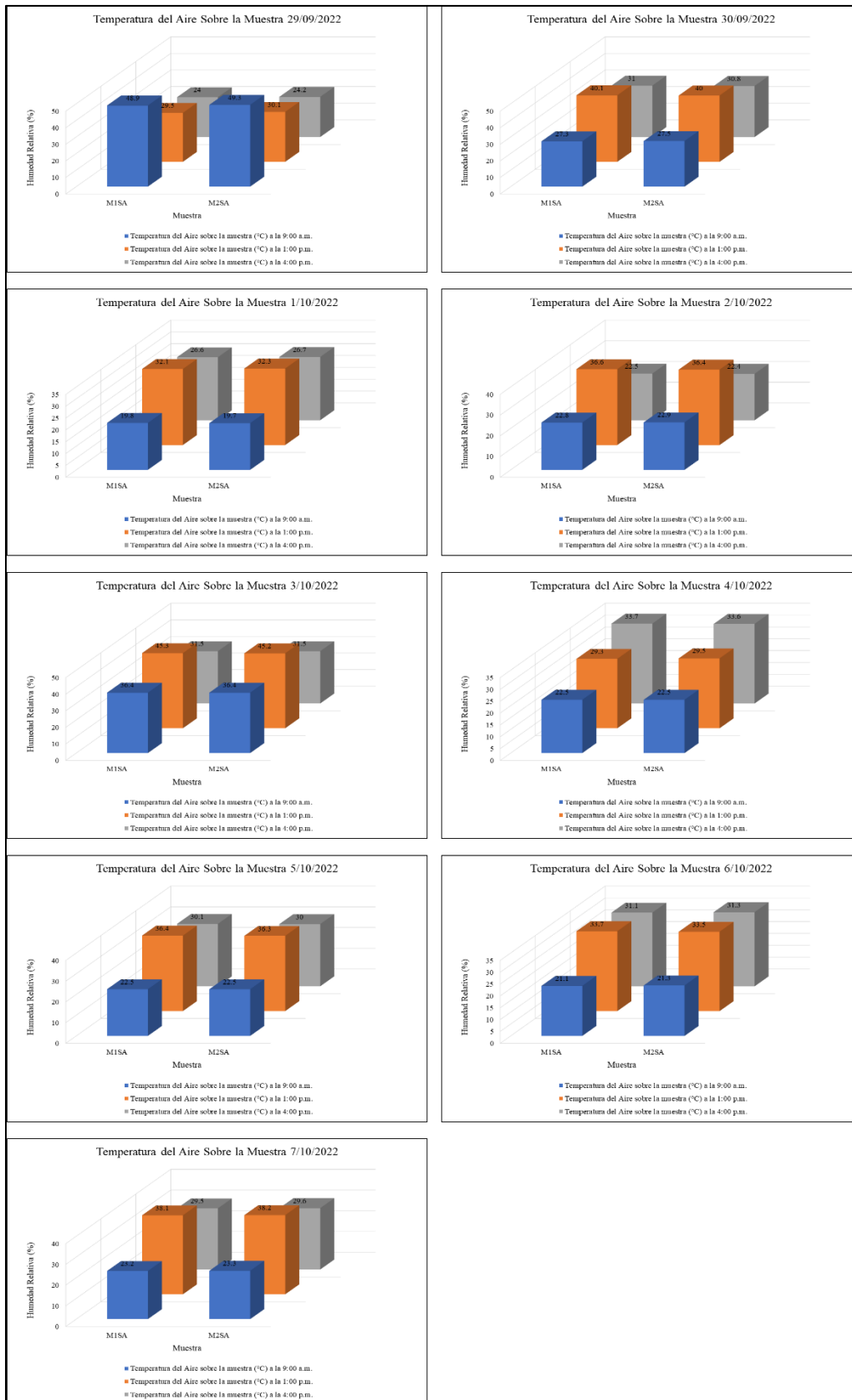
CONSTRUCCIÓN DE UN (1) SECADOR SOLAR ACTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN LA FINCA LA RUBIELA DEL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA					
PRESUPUESTO GENERAL DE LA OBRA					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	Concreto				
1,1	Pedestal 0,4m*0,4m en concreto F'c= 3000 psi y ladrillo estructural Alcántara 24x12x6.8cm	ml	2,40	\$ 186.053,82	\$ 446.529,17
1,2	Solado de limpieza F'c= 2500 psi E=5 cm	m <sub>2</sub>	72,00	\$ 21.855,00	\$ 1.573.560,00
1,3	Zapatas en concreto F'c= 3000 psi	m <sub>3</sub>	0,43	\$ 709.185,00	\$ 306.367,92
2	Aceros				
2,1	Acero de refuerzo Fy= 60000 psi	Kg	30,00	\$ 4.395,00	\$ 131.850,00
3	Mampostería, pañetes y pisos				
3,1	Muro de contención en bloque de ladrillo macizo	m <sub>2</sub>	9,86	\$ 71.378,89	\$ 703.795,90
4	Cubiertas				
4,1	Correa en guadua	ml	4,57	\$ 36.000,00	\$ 164.571,43
4,2	Lona ProSolar con calibre de 190 g/cm <sup>2</sup> de color azul	m <sub>2</sub>	264,68	\$ 8.500,00	\$ 2.249.780,00
5	Carpintería, madera, metálica y aluminio				
5,1	Viga estructural en guadua	ml	12,86	\$ 12.869,75	\$ 165.468,21
5,2	Escalera en tabla y polín de 0,7 m de ancho	ml	4,00	\$ 42.417,40	\$ 169.669,60
5,3	Pasera	m <sub>2</sub>	132,00	\$ 51.075,00	\$ 6.741.900,00
5,4	Pasillo en madera de 0,8 m de ancho	ml	24,00	\$ 5.906,25	\$ 141.750,00
5,5	Columna estructural en guadua	ml	15,57	\$ 27.470,00	\$ 427.707,90
6	Controladores				
6,1	Balanza digital marca Constant modelo 14192-157B	und	1,00	\$ 73.000,00	\$ 73.000,00
6,2	Controlador Temperatura Humedad Higrómetro STC - 3028	und	1,00	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
6,3	Extractor de Aire 17 Pulgadas Industrial Aspa Metálica	und	1,00	\$ 580.000,00	\$ 580.000,00
6,4	Termohigrómetro Digital Sonda Temperatura Humedad Htc2	und	8,00	\$ 23.000,00	\$ 184.000,00
6,5	Termómetro Digital Infrarrojo	und	1,00	\$ 65.000,00	\$ 65.000,00



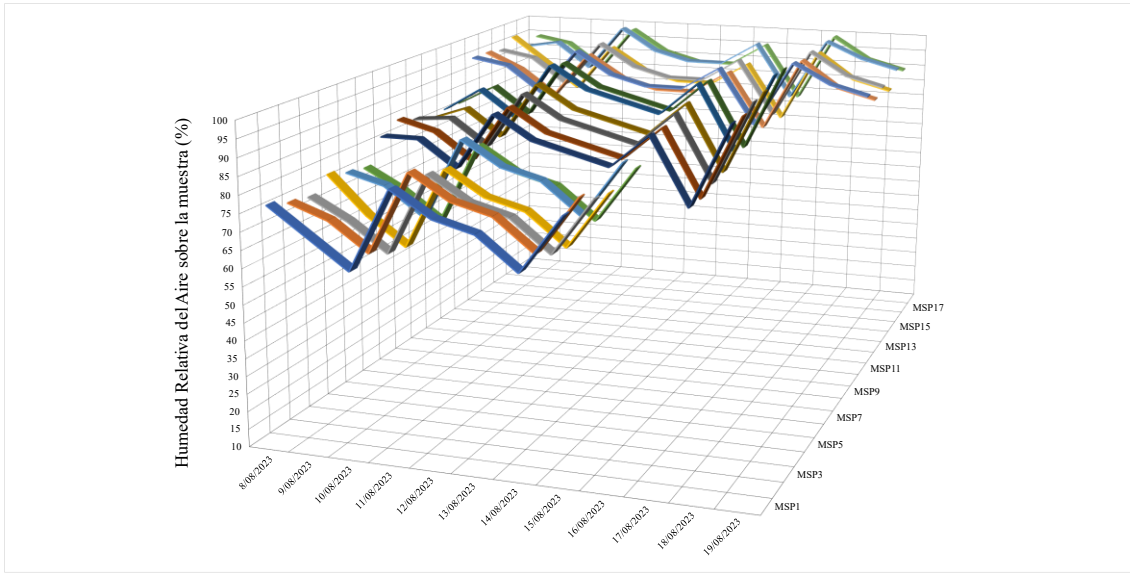




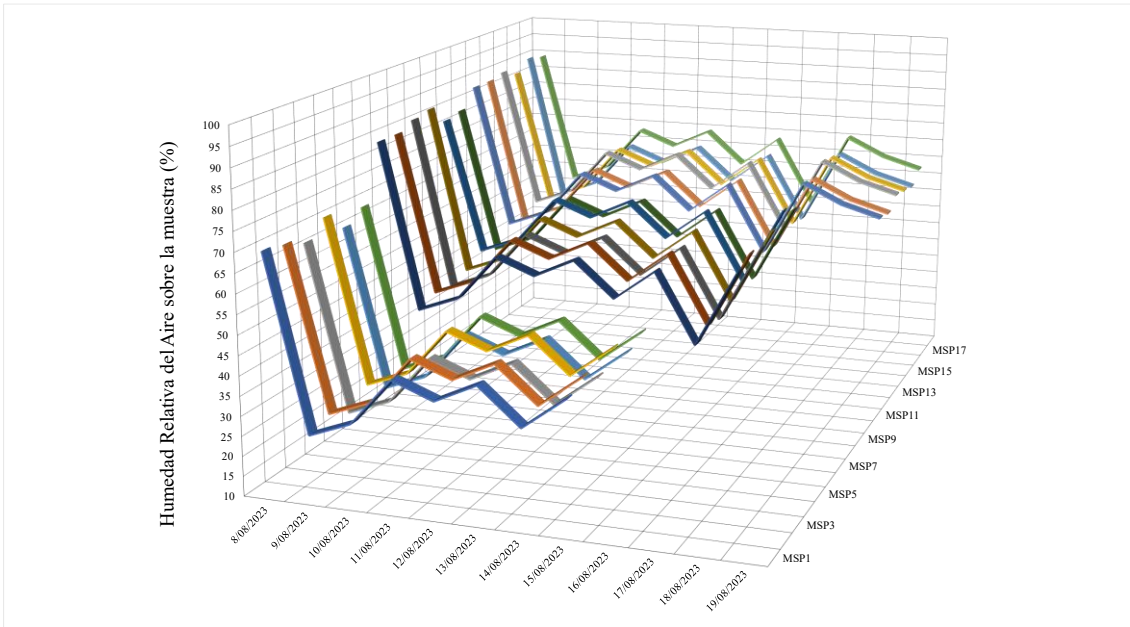
ANEXO 7. Humedad relativa del aire sobre las muestras.



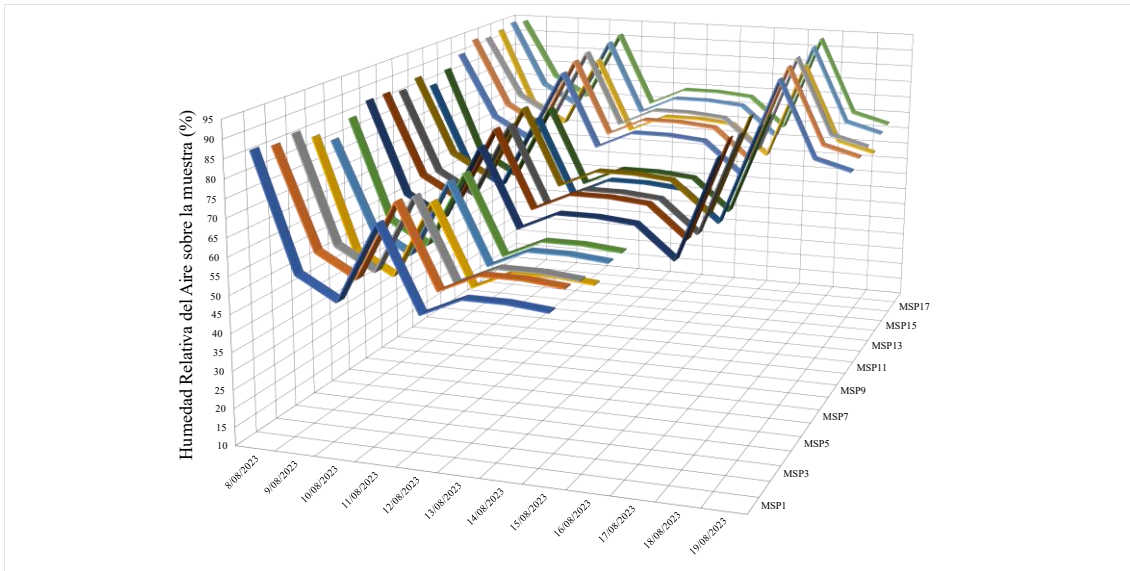
ANEXO 8 Temperatura del aire sobre las muestras.



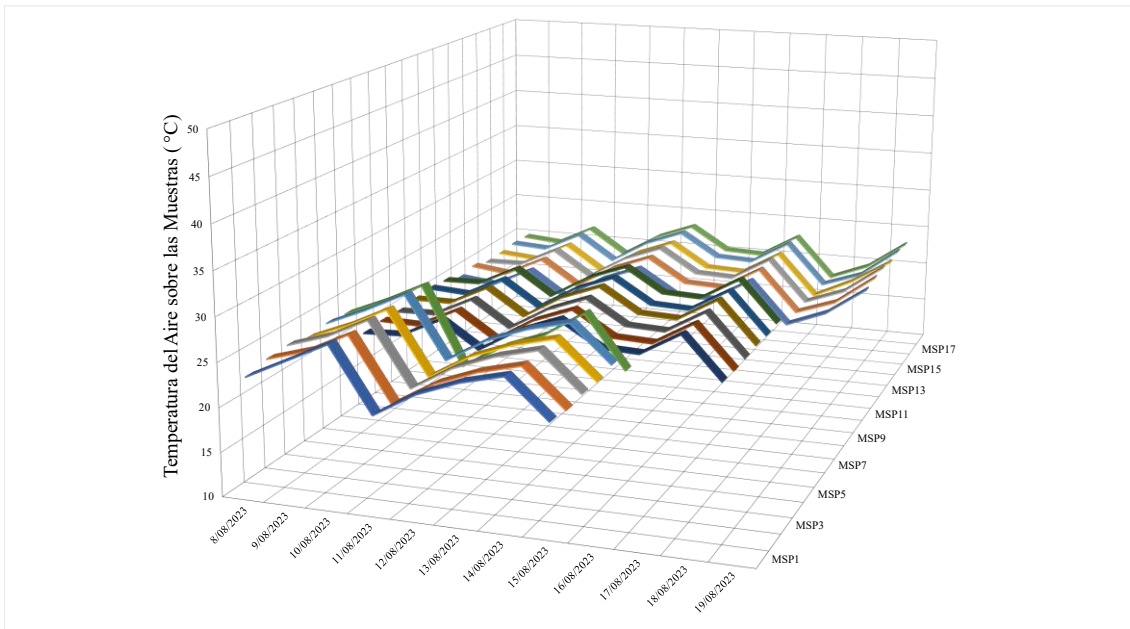
**ANEXO 9.** Humedad relativa del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a las 9:00 am.



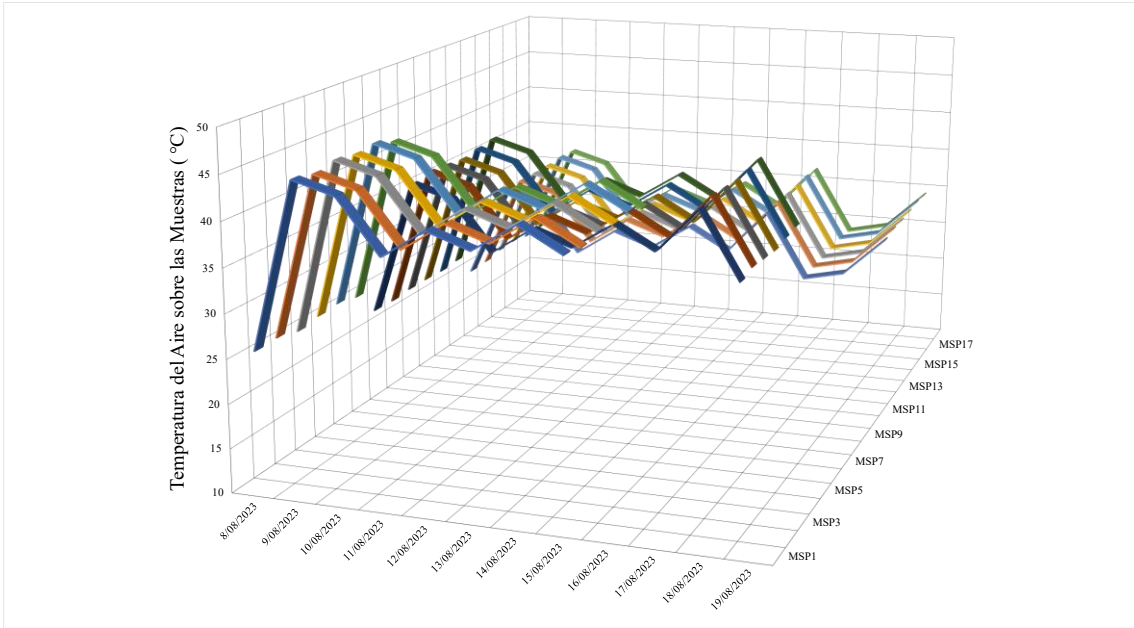
**ANEXO 10.** Humedad relativa del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a la 1:00 pm.



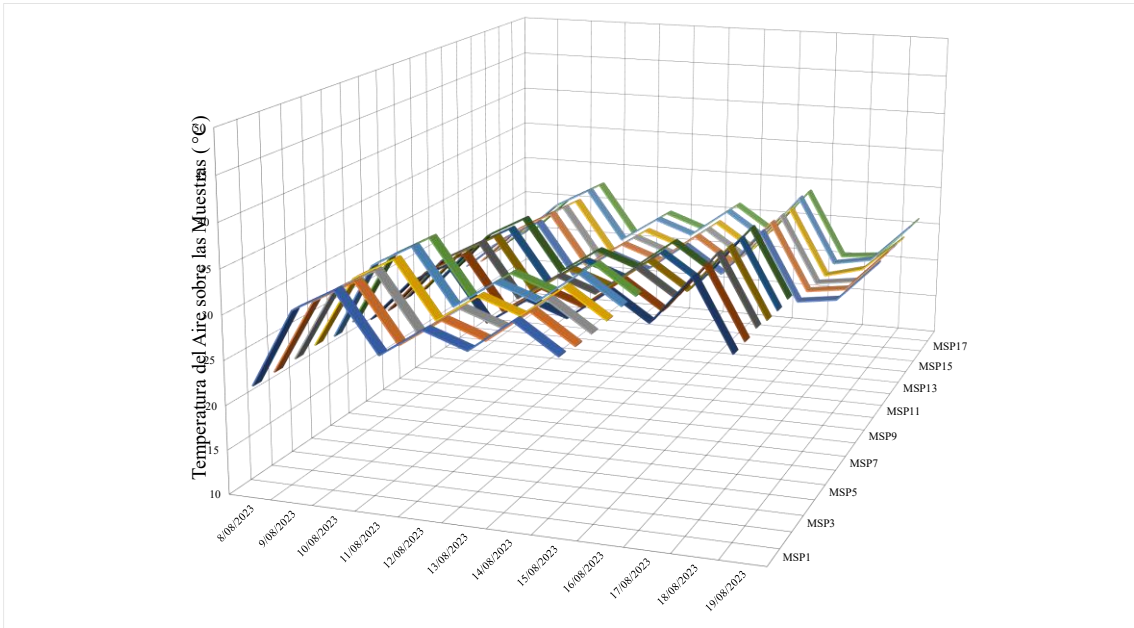
*ANEXO 11. Humedad relativa del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a las 4:00 pm.*



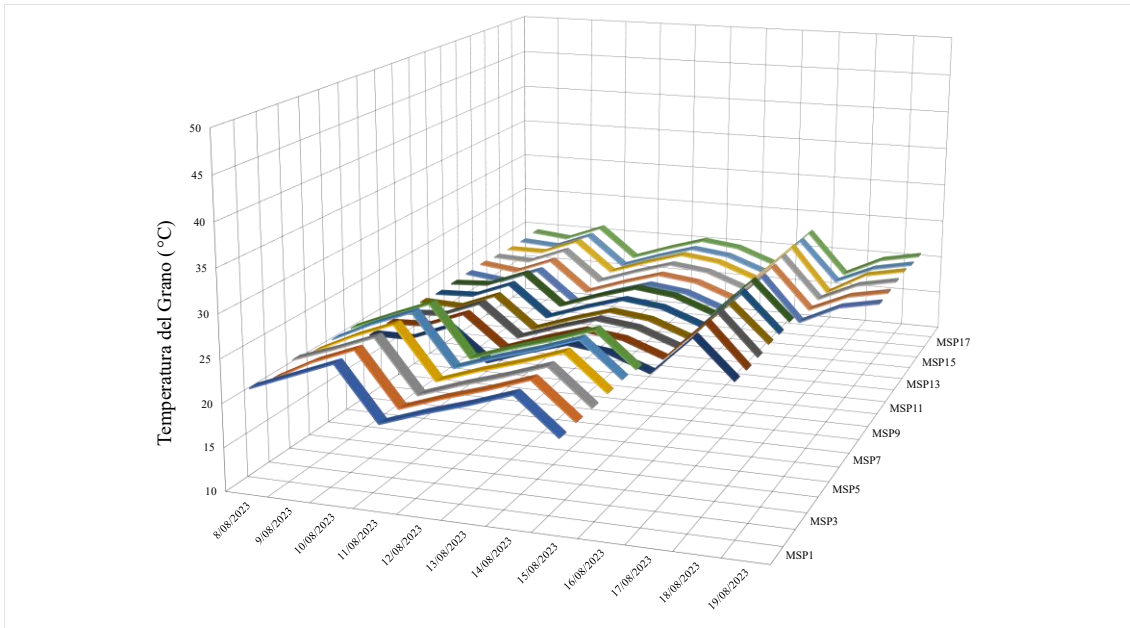
*ANEXO 12. Temperatura del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a las 9:00 am.*



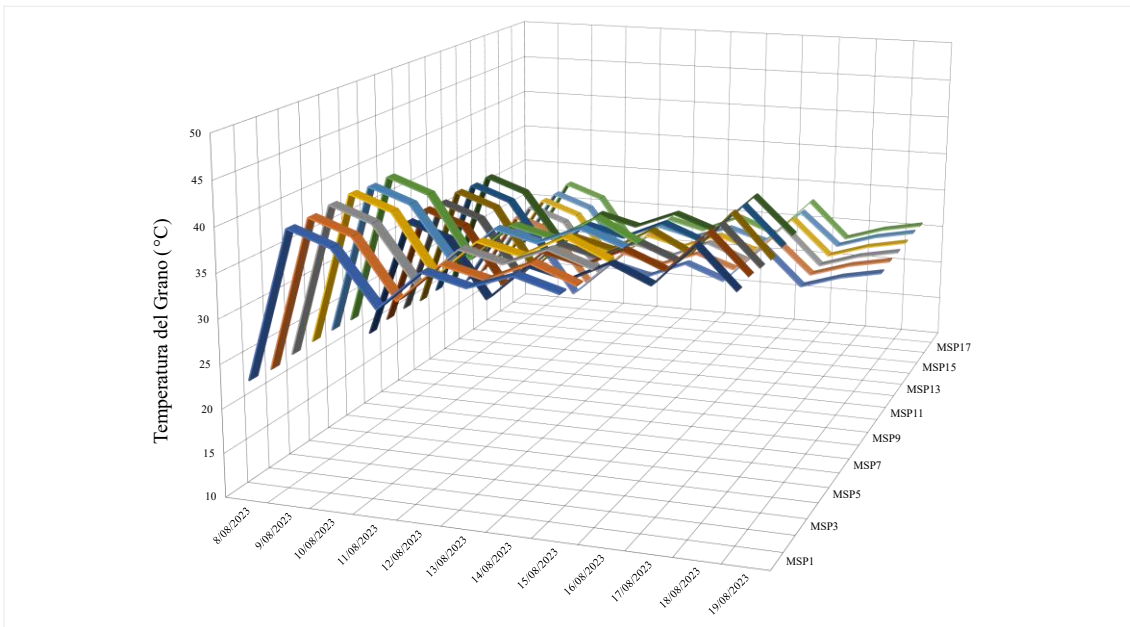
*ANEXO 13. Temperatura del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a la 1:00 pm.*



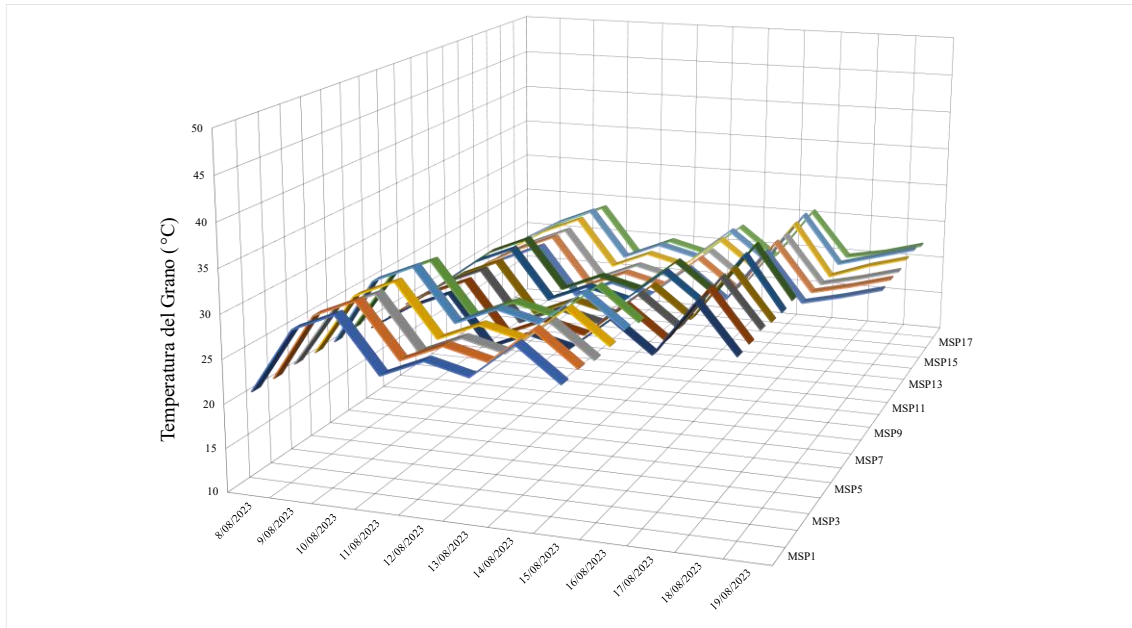
*ANEXO 14. Temperatura del aire sobre las muestras dentro del secador propuesto a la 4:00 pm.*



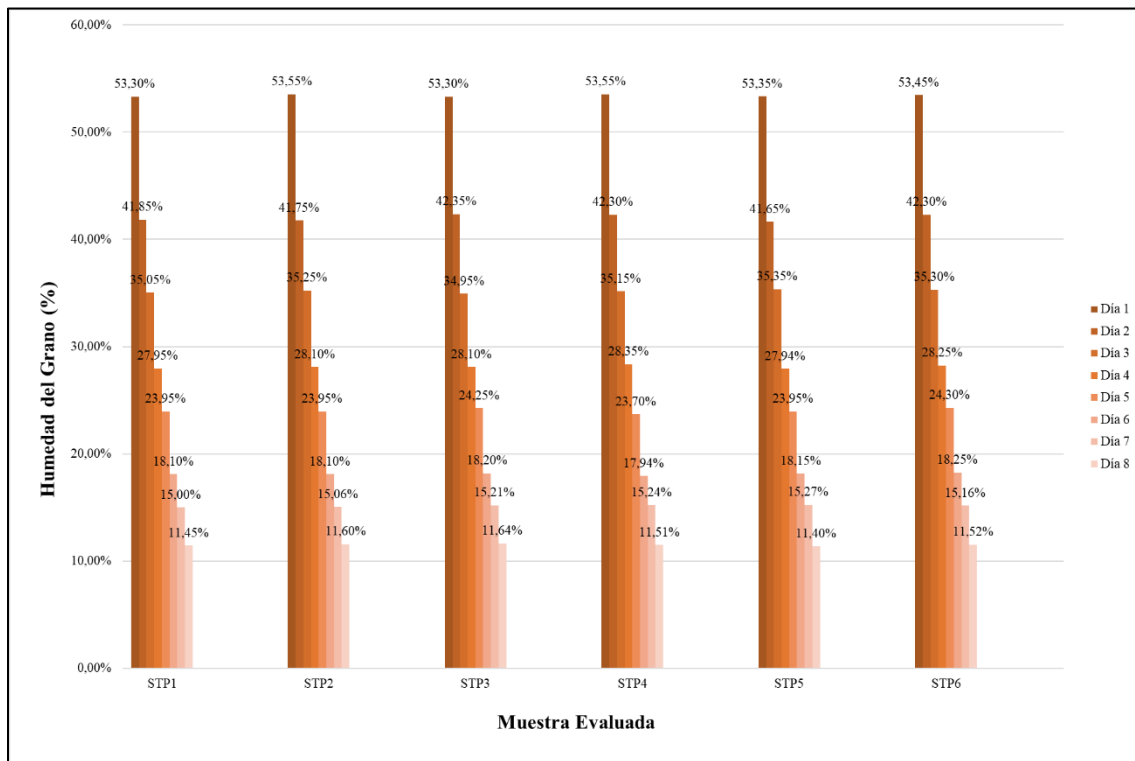
*ANEXO 15. Temperatura del grano evaluada dentro del secador propuesto a las 9:00 am.*



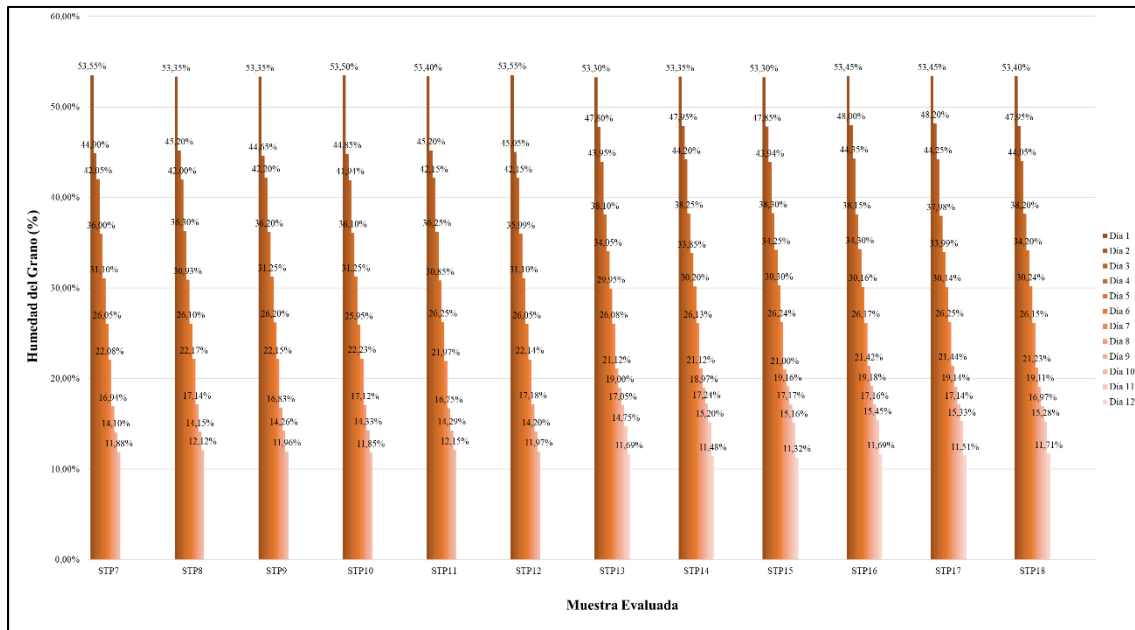
*ANEXO 16. Temperatura del grano evaluada dentro del secador propuesto a la 1:00 pm.*




ANEXO 17. Temperatura del grano evaluada dentro del secador propuesto a la 4:00 pm.



ANEXO 18. Pérdida de humedad del grano en laboratorio mediante método de la estufa del tercer piso del secador propuesto.



*ANEXO 19. Pérdida de humedad del grano en laboratorio mediante método de la estufa del segundo piso del secador propuesto.*

GLOP COFFEE COMPANY SAS			
<b>Reporte de Análisis Físico Sensorial</b>			
<b>NIT 901.364.400</b>			
2022-10-17			
DATOS GENERALES DE LA MUESTRA			
<b>Nombre del productor:</b>	LUIS ARMANDO MAMIAN MESA		
<b>Número de contacto:</b>	3212265495		
<b>Proceso de fermentación:</b>	LAVADO		
<b>Tipo de secado:</b>	TRADICIONAL		
<b>Departamento:</b>	HUILA	<b>N° Muestra:</b>	158
<b>Nombre de la finca:</b>	LA RUBIELA	<b>Variedad:</b>	CASTILLO TAMBO
<b>Altura de la finca:</b>	1400 msnm	<b>Municipio:</b>	PITALITO
<b>Humedad del café:</b>	12%	<b>Vereda:</b>	EL MACAL
ANÁLISIS FÍSICO			
<b>Peso de muestra(g):</b>	250	<b>Merma por Trilla(g):</b>	194.5
<b>Peso de almendra sana(g):</b>	175.98	<b>Blanqueado(g):</b>	1
<b>Merma por trilla(%):</b>	22.2%	<b>Cardenillo(g):</b>	0
<b>Negro total o parcial(g):</b>	0	<b>Cristalizado(g):</b>	0
<b>Vinagre(g):</b>	0	<b>Decolorado ambar o mantequillo(g):</b>	0
<b>Decolorado veteadado(g):</b>	0	<b>Mordido o cortado(g):</b>	1.8
<b>Decolorado sobresecado(g):</b>	0	<b>Averanado o arrugado(g):</b>	0
<b>Picado por insecto(g):</b>	0	<b>Aplastado(g):</b>	0
<b>Inmaduro o paloteado(g):</b>	0	<b>Decolorado o reposado(g):</b>	0
<b>Flojo(g):</b>	0	<b>Deforme(g):</b>	0
<b>Malla 18(g):</b>	0	<b>Malla 15(g):</b>	0
<b>Malla 17(g):</b>	0	<b>Malla 14(g):</b>	178
<b>Malla 16(g):</b>	0	<b>Malla 0(g):</b>	14.5
<b>Factor de rendimiento:</b>	99.44	<b>Peso de defectos totales(g):</b>	2.8
<input type="text"/>			
RESULTADOS Y RECOMENDACIONES			
<b>Sonia Stella Mateus Gomez</b> Analista - Análisis Físico		<b>EDIER PERDOMO CLAROS</b> CATADOR - Catador	

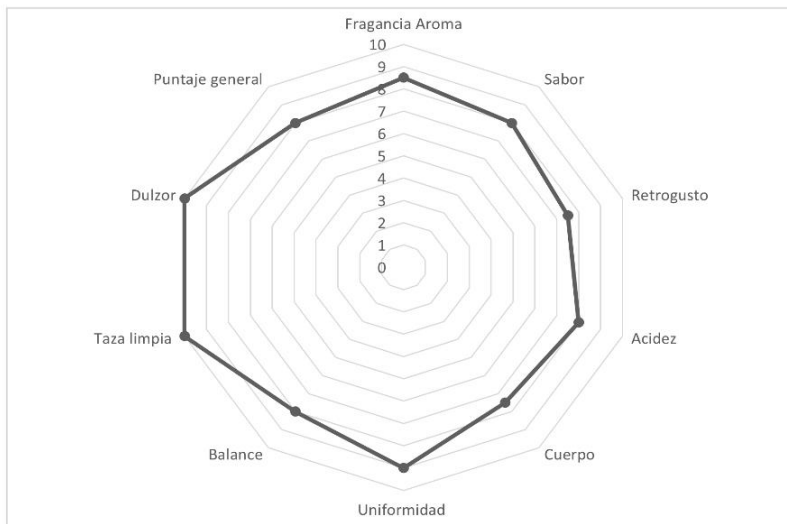


**DATOS GENERALES DE LA MUESTRA**

<b>Nombre del productor:</b>	LUIS ARMANDO MAMIAN MESA	<b>N° Muestra:</b>	158
<b>Número de contacto:</b>	3212265495	<b>Variiedad:</b>	CASTILLO TAMBO
<b>Proceso de fermentación:</b>	LAVADO	<b>Municipio:</b>	PITALITO
<b>Tipo de secado:</b>	TRADICIONAL	<b>Vereda:</b>	EL MACAL
<b>Departamento:</b>	HUILA	<b>Fragancia aroma:</b>	8.5
<b>Nombre de la finca:</b>	LA RUBIELA	<b>Sabor:</b>	8
<b>Altura de la finca:</b>	1400 msnm	<b>Retrogusto:</b>	7.5
<b>Humedad del café:</b>	12%	<b>Acidez:</b>	8
<b>Recomendación:</b>		<b>Cuerpo:</b>	7.5
		<b>Uniformidad:</b>	9
		<b>Balance:</b>	8
		<b>Taza limpia:</b>	10
		<b>Dulzor:</b>	10
		<b>Puntaje general:</b>	8
		<b>Puntaje total:</b>	84.5


NOTAS: DULZOR MEDIO, ACIDEZ MEDIA, CUERPO MEDIO NOTAS TRADICIONALES A CAFE COLOMBIA NO: PANELA, CITRICO Y CAMELO

**ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SENSORIALES**



**Sonia Stella Mateus Gomez**  
 Analista - Análisis Físico

**EDIER PERDOMO CLAROS**  
 CATADOR - Catador

GLOP COFFEE COMPANY SAS		Reporte de Análisis Físico Sensorial		NIT 901.364.400		2023-08-25	
							
DATOS GENERALES DE LA MUESTRA							
<b>Nombre del productor:</b>	LUIS ARMANDO MAMIAN MESA			<b>N° Muestra:</b>	271		
<b>Número de contacto:</b>	3212265495			<b>Variedad:</b>	CASTILLO TAMBO		
<b>Proceso de fermentación:</b>	LAVADO			<b>Municipio:</b>	PITALITO		
<b>Tipo de secado:</b>	TRADICIONAL			<b>Vereda:</b>	EL MACAL		
<b>Departamento:</b>	HUILA						
<b>Nombre de la finca:</b>	LA RUBIELA						
<b>Altura de la finca:</b>	1400 msnm						
<b>Humedad del café:</b>	11.7%						
ANÁLISIS FÍSICO							
<b>Peso de muestra(g):</b>	250			<b>Merma por Trilla(g):</b>	192.8		
<b>Peso de almendra sana(g):</b>	178.53			<b>Blanqueado(g):</b>	2		
<b>Merma por trilla(%):</b>	22.88%			<b>Cardenillo(g):</b>	0		
<b>Negro total o parcial(g):</b>	0			<b>Cristalizado(g):</b>	0		
<b>Vinagre(g):</b>	0			<b>Decolorado ambar o mantequillo(g):</b>	0		
<b>Decolorado veteadado(g):</b>	0			<b>Mordido o cortado(g):</b>	1.5		
<b>Decolorado sobresecado(g):</b>	0			<b>Averanado o arrugado(g):</b>	0		
<b>Picado por insecto(g):</b>	0			<b>Aplastado(g):</b>	0		
<b>Inmaduro o paloteado(g):</b>	0			<b>Decolorado o reposado(g):</b>	0		
<b>Flojo(g):</b>	0			<b>Deforme(g):</b>	0		
<b>Malla 18(g):</b>	0			<b>Malla 15(g):</b>	0		
<b>Malla 17(g):</b>	0			<b>Malla 14(g):</b>	180		
<b>Malla 16(g):</b>	0			<b>Malla 0(g):</b>	12.8		
<b>Factor de rendimiento:</b>	0			<b>Peso de defectos totales(g):</b>	2.5		
	98.02						
RESULTADOS Y RECOMENDACIONES							
Sonia Stella Mateus Gomez Analista - Análisis Físico				EDIER PERDOMO CLAROS CATADOR - Catador			

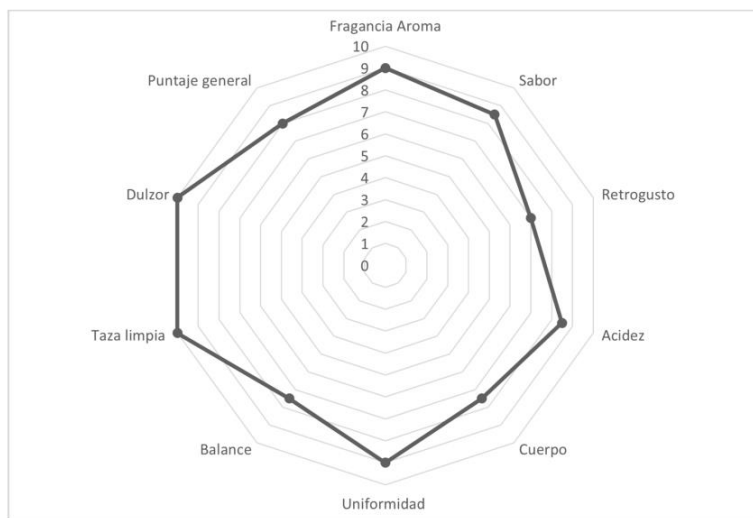


**DATOS GENERALES DE LA MUESTRA**

<b>Nombre del productor:</b>	LUIS ARMANDO MAMIAN MESA	<b>N° Muestra:</b>	158
<b>Número de contacto:</b>	3212265495	<b>Variiedad:</b>	CASTILLO TAMBO
<b>Proceso de fermentación:</b>	LAVADO	<b>Municipio:</b>	PITALITO
<b>Tipo de secado:</b>	TRADICIONAL	<b>Vereda:</b>	EL MACAL
<b>Departamento:</b>	HUILA	<b>Fragancia aroma:</b>	9
<b>Nombre de la finca:</b>	LA RUBIELA	<b>Sabor:</b>	8.5
<b>Altura de la finca:</b>	1400 msnm	<b>Retrogusto:</b>	7
<b>Humedad del café:</b>	11.7%	<b>Acidez:</b>	8.5
<b>Recomendación:</b>		<b>Cuerpo:</b>	7.5
		<b>Uniformidad:</b>	9
		<b>Balance:</b>	7.5
		<b>Taza limpia:</b>	10
		<b>Dulzor:</b>	10
		<b>Puntaje general:</b>	8
		<b>Puntaje total:</b>	84.5

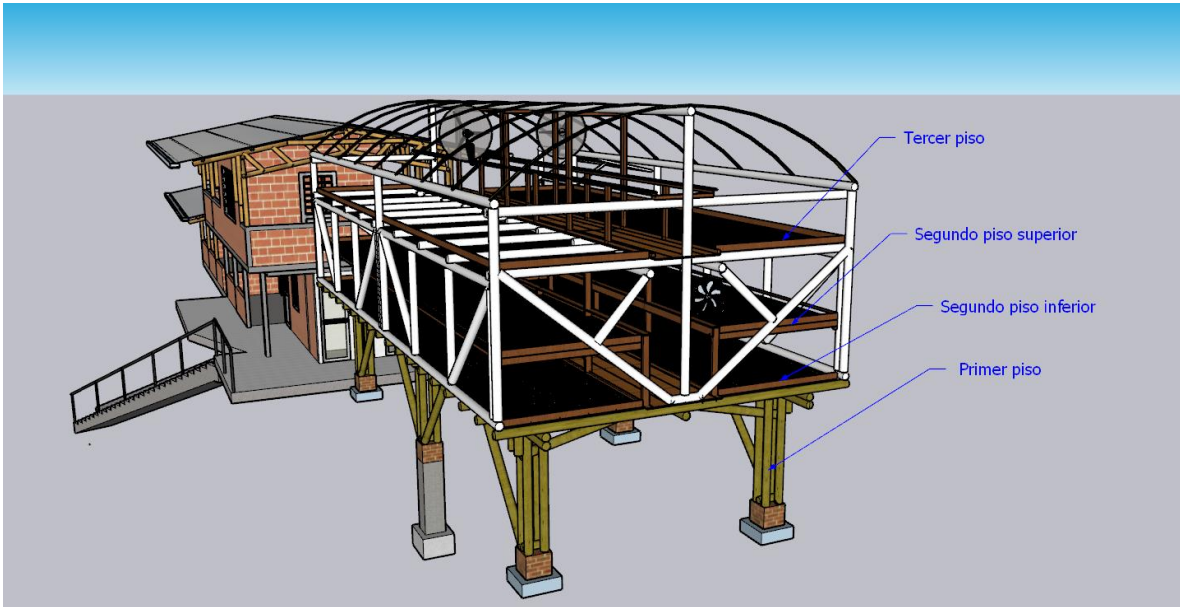
NOTAS: FRAGANCIA AROMA INTENSA, ACIDEZ MEDIA ALTA, CUERPO MEDIO, CARACTERISTICO A CAFE DE COLOMBIANO: NARANJA, RESIDUAL INTENSIDAD MEDIA CITRICO Y CAMELO

**ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SENSORIALES**



**Sonia Stella Mateus Gomez**  
 Analista - Análisis Físico

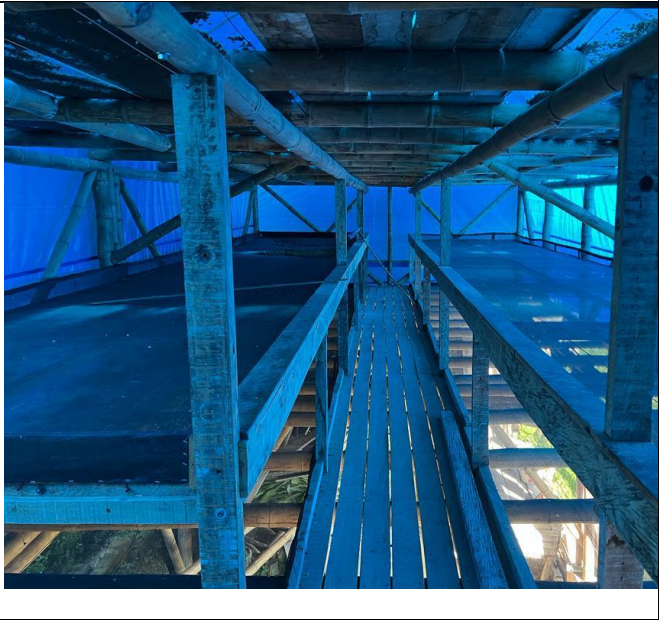
**EDIER PERDOMO CLAROS**  
 CATADOR - Catador



*ANEXO 24. disposiciones de los pisos del secador propuesto.*



*ANEXO 25. Secador solar preexistente.*





*ANEXO 26. Secador solar propuesto.*