



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 17 de enero de 2022.

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Diego Mauricio Castro Guerra, con C.C. No. 93413918,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

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

titulado Evaluación del contenido de almidón en semillas de café durante la germinación presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de Magister en Ciencia y Tecnología del Café;

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.

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

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

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



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Evaluación del contenido de almidón en semillas de café durante la germinación.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Guerra	Diego Mauricio

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Polo Ledesma	Reynaldo Emilio

**ASESOR (ES):**

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

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Ciencia y Tecnología del Café.

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ciencia y Tecnología del Café.

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2021

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 10

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

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

Vigilada Mineducación

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



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 3</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

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

**MATERIAL ANEXO: Fotografías**

**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 verde</u>	<u>Green coffee</u>	6. _____	_____
2. <u>Amilosa</u>	<u>Amylose</u>	7. _____	_____
3. <u>Amilopectina</u>	<u>Amylopectin</u>	8. _____	_____
4. <u>Micorriza</u>	<u>Mycorrhiza</u>	9. _____	_____
5. <u>Acido alfa naftalenacético</u>	<u>Alpha Naphthalenacetic acid</u>	10. _____	_____

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

En la semilla de café, están presentes compuestos tales como proteínas, carbohidratos, lípidos, entre otros, siendo relevante el contenido de polisacáridos energéticos como el almidón, que, a través de procesos de degradación y síntesis, promueven el crecimiento de una nueva planta.

Se evaluó la concentración de almidón presente en el endospermo, de acuerdo a una metodología para la germinación de diferentes períodos de tiempo, 0, 20 y 40 días, en distintos sustratos como arena (A), suelo (S), suelo + micorriza (micorrizas arbusculares) (SM), suelo + ANA (ácido Alfa- Naftalenacético) (SANA), sin tener en cuenta el estado fisiológico de desarrollo de la radícula.

La concentración de almidón en la harina de café verde se obtuvo realizando la curva de calibración, a partir del modelo:  $y = 33.619x + 63.214$ , mostrando contenidos entre 24.9 y 17.0 g/dl. Estos estudios ofrecen la oportunidad de continuar con el estudio de compuestos como el almidón en el endospermo y su influencia en la formación de estructuras de crecimiento.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)



<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>3 de 3</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

In the coffee seed, compounds such as proteins, carbohydrates, lipids, among others, are present, being relevant the content of energetic polysaccharides such as starch, which, through degradation and synthesis processes, promote the growth of a new plant.

The concentration of starch present in the endosperm was evaluated, according to a methodology for the germination of different periods of time, 0, 20 and 40 days, in different substrates such as sand (A), soil (S), soil + mycorrhiza (arbuscular mycorrhizae) (SM), soil + ANA (Alpha-Naphthaleneacetic acid) (SANA), without taking into account the physiological stage of development of the radicle.

The starch concentration in green coffee flour was obtained by performing the calibration curve, from the model:  $y = 33.619x + 63.214$ , showing contents between 24.9 and 17.0 g / dl. These studies offer the opportunity to continue the study of compounds such as starch in the endosperm and their influence on the formation of growth structures.

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Claudia Milena Amorocho Cruz

Firma:

Nombre Jurado: Nelson Gutiérrez Guzmán

Firma:

# Evaluación del contenido de almidón en semillas de café durante la germinación

## Starch content assessment in coffee seeds during germination

Diego Mauricio Castro Guerra <sup>1\*</sup>, y Reinaldo Emilio Polo Ledesma <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo. Maestrante Programa de Ingeniería Universidad Surcolombiana. Email: [iadiegocastro@gmail.com](mailto:iadiegocastro@gmail.com) <http://orcid.org/0000-0002-8792-7401>

<sup>2</sup> PhD. Química, Docente de planta – Universidad Surcolombiana. Email: [remipole@gmail.com](mailto:remipole@gmail.com)

\* (Autor para correspondencia)

Fecha de recibo: 19-01-2022

Fecha de revisión:

Fecha de aprobación:

### Resumen

En la semilla de café, están presentes compuestos tales como proteínas, carbohidratos, lípidos, entre otros, siendo relevante el contenido de polisacáridos energéticos como el almidón, que, a través de procesos de degradación y síntesis, promueven el crecimiento de una nueva planta.

Se evaluó la concentración de almidón presente en el endospermo, de acuerdo a una metodología para la germinación de diferentes períodos de tiempo, 0, 20 y 40 días, en distintos sustratos como arena (A), suelo (S), suelo + micorriza (micorrizas arbusculares) (SM), suelo + ANA (ácido Alfa- Naftalenacético) (SANA), sin tener en cuenta el estado fisiológico de desarrollo de la radícula.

La concentración de almidón en la harina de café verde se obtuvo realizando la curva de calibración, a partir del modelo:  $y = 33.619x + 63.214$ , mostrando contenidos entre 24.9 y 17.0 g/dl. Estos estudios ofrecen la oportunidad de continuar con el estudio de compuestos como el almidón en el endospermo y su influencia en la formación de estructuras de crecimiento.

*Palabras clave: Café verde; amilosa; amilopectina; micorriza; ácido Alfa- Naftalenacético.*

---

### Abstract

In the coffee seed, compounds such as proteins, carbohydrates, lipids, among others, are present, being relevant the content of energetic polysaccharides such as starch, which, through degradation and synthesis processes, promote the growth of a new plant.

The concentration of starch present in the endosperm was evaluated, according to a methodology for the germination of different periods of time, 0, 20 and 40 days, in different substrates such as sand (A), soil (S), soil + mycorrhiza (arbuscular mycorrhizae) (SM), soil + ANA (Alpha-Naphthaleneacetic acid) (SANA), without taking into account the physiological stage of development of the radicle.

The starch concentration in green coffee flour was obtained by performing the calibration curve, from the model:  $y = 33.619x + 63.214$ , showing contents between 24.9 and 17.0 g / dl. These studies offer the opportunity to continue the study of compounds such as starch in the endosperm and their influence on the formation of growth structures.

*Key words: Green coffee; amylose; amylopectin; mycorrhiza; Alpha-Naphthaleneacetic acid.*

---

## 1. Introducción

Uno de los cultivos de mayor interés en el mundo es el café, siendo importante en el intercambio comercial (Privat et al., 2008; Vegro & de Almeida, 2019). Las especies con mayor explotación económica en los países productores son *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Farah & Dos Santos, 2015; Marshall, 1985), Colombia se destaca por su calidad y perfil sensorial (Hoyos Ossa et al., 2018; Puerta Quintero, 2017), con un área cultivada de 844.000 ha (MADR - Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, 2021), lo cual lo hace un producto alimenticio importante para el desarrollo de investigaciones (Clifford, 1985; Puerta Q., 2011).

En la semilla de café, el embrión está cubierto por el endospermo (Eira et al., 2006; Waters et al., 2017). Uno de los principales compuestos de almacenamiento de semillas maduras de *Coffea arabica* son polisacáridos de la pared celular (CWP, 48-60% MS) (De Castro & Marraccini, 2006; Joët et al., 2010; Schieberle, 2009); éste, a su vez, se encuentra en mayor proporción en el endospermo, a diferencia del embrión, por lo que la semilla puede considerarse una gran unidad de almacenamiento (De Castro & Marraccini, 2006). De acuerdo a esto, se hace necesaria la presencia de almidón en el proceso germinativo, de esta manera se crea una planta con la suficiente energía para soportar el intemperismo cuando sea establecida en una plantación.

El almidón es una macromolécula, conformada por dos polímeros distintos de glucosa, como son la amilosa y amilopectina, que funcionan como reserva en los vegetales y están disponibles en forma de partículas insolubles (Bernal & Martínez-Barajas, 2006). En las semillas que almacenan almidón, predominan la reparación y activación de orgánulos preexistentes, mientras que las semillas que almacenan aceite normalmente producen nuevas mitocondrias (Bewley, 1980; Morohashi, 1986). Es así como el almidón es la fuente de energía almacenada en diferentes estructuras de la planta de café como son ramas, tallo y raíces gruesas, que influyen en un mejor llenado de los frutos, crecimiento de brotes, cuando sus niveles son altos, de lo contrario podría disminuir la producción, ocurrir muerte de ramas productivas y bajo crecimiento en brotes nuevos (Anand et al., 2014).

Durante la germinación de la semilla de café, se desencadenan una serie de actividades metabólicas de los componentes como carbohidratos y lípidos principalmente, almacenados en el endospermo como fuente de energía (Doria, 2010), a su vez, inducidas por condiciones externas como la temperatura, la humedad, los nutrientes presentes en el suelo y otras variables de importancia en el proceso (Matilla, 2008). Aunque este proceso se lleva a cabo de manera asincrónica y muy lenta, lo que genera heterogeneidad en la emergencia de las nuevas plántulas de café, este podría ser uno de los factores determinantes que no garanticen un proceso exitoso en cuanto al vigor de las plantas.

Durante el crecimiento de la planta se presenta síntesis y degradación del almidón en cada célula, a su vez este se dirige a diferentes puntos de la planta donde puede almacenarse por periodos cortos o muy largos (Bernal & Martínez-Barajas, 2006). En el endospermo de la semilla de café, se encuentra una gran cantidad de lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos fenólicos necesarios para el desarrollo antes de la aparición de los cotiledones (De Castro & Marraccini, 2006; Dentan, 1985).

A su vez esta síntesis y degradación del almidón se llevan a cabo en los plastidios, aunque estos procesos en cada órgano se ajustan de acuerdo al proceso que se esté llevando a cabo, de esta manera al momento de la germinación en el endospermo hay una gran acumulación de almidón equiparando a una bodega, y en estructuras como las hojas hay una degradación rápida (Bernal & Martínez-Barajas, 2006; Matilla, 2008).

Actualmente, el área de genética y poscosecha cuenta con las principales líneas de investigación, por lo cual se requiere generar investigación acerca de los compuestos químicos en el endospermo, comprendiendo los procesos internos durante los eventos de germinación, ya que las características de una planta están asociadas a una semilla de buen vigor (Ángel et al., 2021; Herrera. J., 1993; Selmar et al., 2008).

El estudio de los componentes al interior de la semilla de café verde, podrían verse como los factores determinantes de aceptación en calidad de semilla para siembra y establecimiento de cultivo o como materia prima para bebida.

El objetivo de este trabajo es evaluar el contenido de almidón en la semilla de café durante el proceso de germinación, en un periodo de tiempo 0, 20 y 40 días, en diferentes sustratos: arena (A), suelo (S), suelo + micorriza (micorrizas arbusculares) (SM), suelo + ANA (ácido Alfa- Naftalenacético) (SANA), proporcionando

información relevante en cuanto a viabilidad y resistencia de la nueva plántula de café para establecerse en las áreas de cultivo.

## 2. Metodología

### 2.1 Localización y germinación

La germinación de la semilla de café se llevó a cabo en condiciones controladas (oscuridad y humedad del suelo en capacidad de campo) en recinto cerrado, y la determinación de almidón se realizó en la Universidad Surcolombiana sede Neiva en los laboratorios de Bromatología, Alimentos y Planta Piloto adscritos al Centro Surcolombiano de Investigación en Café CESURCAFÉ.

Se utilizó la semilla comercial variedad CENICAFÉ 1 con contenido de humedad del 12%, adquirida a través del comité de Cafeteros del Huila, sembrada manualmente en recipientes de Polipropileno (PP) de (19 cm x 20 cm x 80 cm).

### 2.2 Tratamientos

Se establecieron 4 tratamientos para analizar contenidos de almidón durante 40 días (*Tabla 1*). Los sustratos empleados para cada tratamiento fueron: arena de río lavada; suelo perteneciente al Ecotopo 317A, suelo más micorrizas (Endomicorrizas, producto comercial con base en micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Entrophospora*) (20 g/l) y suelos más ANA (ácido Alfa- Naftalenacético) (20 g/l). Cada tratamiento contiene 230 granos de semillas de café (el peso del grano de café pergamino es de 0,22g)(Montilla., 2008).

**Tabla 1.** Sustratos para germinación en función de los días a evaluar.

TRATAMIENTO/ SUSTRATO	DDS	
Arena (A)	0 20 40	
Suelo (S)	0 20 40	
Suelo + Micorriza* (SM)	0 20 40	
Suelo + ANA** (SANA)	0 20 40	

DDS: días después de la siembra, \* Micorriza; \*\* ANA - Regulador Fisiológico (ácido Alfa- Naftalenacético)

En cada uno de los tratamientos las semillas se sometieron a un proceso de imbibición en agua durante 24 horas, posteriormente se llevaron a siembra en su respectivo tratamiento. El sustrato fue desinfectado con agua a 100°C, retirando impurezas y agentes extraños, posteriormente se tamizó en malla # 18.

Se realizó la siembra con las semillas imbibidas, para cada tratamiento, con tres repeticiones. Durante el proceso de germinación se midió humedad relativa y temperatura, además se controló la exposición al brillo solar y se realizó riego cada 48 horas.

### 2.3 Obtención de harina de café verde



Luego de iniciado el proceso de germinación a los 20 y 40 días se realizó una extracción de la semilla del sustrato, se le hizo un lavado retirando el exceso de material de siembra con agua destilada en el agitador magnético MICROSTIRRER por 5 minutos, con velocidad de 1100 rpm.

Una vez las semillas estuvieron limpias, fueron llevadas a secado en la Estufa Universal U Secado, MEMMERT, con una Temperatura de 35°C, Humedad Relativa del 35 % por un periodo de 8 días hasta tener lecturas de contenido de humedad del 6%, las lecturas de apoyo para controlar el contenido de humedad durante el secado se realizaron con el equipo KETT PM 450. Además, se determinó el contenido de humedad al inicio, y finalizado el secado de acuerdo a la metodología NTC 2325(ICONTEC, 2003).

Terminado el secado se removió el pergamino de la semilla, en trilladora modelo C55JXKKP-4983, para cada tratamiento. Posteriormente en un molino NUTRIBULLET motor 600 w (seis cuchillas), se obtuvo la harina de café verde, y se tamizó en la malla N.º 40, apertura 0,425 µm por un tiempo de 5 min 60g. Cada fracción de harina obtenida se recolectó por separado y se almacenó en bolsas para empaque al vacío hasta realizar la extracción.

## **2.4 Extracción de almidón**

Para la cuantificación del almidón se empleó en calidad de reactivo cromógeno una solución de Lugol, el cual se preparó utilizando 3 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua + 0.3 g de yodo.

Para la extracción del almidón se tomó 1 g de café verde molido en 10 ml de NaOH 0,1 M, en agitación durante 30 min, luego se centrifugó durante 5 min, se extrajo el sobrenadante y se guardó en nevera para conservar la muestra para el proceso de cromatografía.

Se utilizó solución salina como solvente para realizar la extracción. Se preparó el solvente con la harina en una relación 1/10 p/v, utilizando 1 g de harina en 10 ml del solvente. Posteriormente se llevó a agitación por un tiempo de 5 minutos. Terminado el proceso de homogenizado el tiempo de extracción fue de 30 minutos, posteriormente se centrifugaron las muestras en Centrifuga Analítica 6 Tubos Clay Adams Compact II durante 5 minutos, obteniendo un sobrenadante de 4,5 ml, el cual fue usado para la lectura en el espectrofotómetro.

Este proceso se repitió con agua caliente (100° C), alcohol etílico (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) al 97% y solución salina (50 ml de CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH al 97 % de pureza + 100 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, se homogenizó por 5 min y 850 ml de agua destilada).

## **2.5 Espectrofotometría**

Las mediciones realizadas se hicieron en el espectrofotómetro Pharmacia Biotech Ultrospec 2000 de onda completa para UV y visible en absorbancia con longitud de onda de 660 nm. Por cada Tratamiento y repetición se realizaron 5 lecturas.

Se usaron 0.4 ml extracto de harina de café + 1.6 solución salina + 0.5 reactivo cromógeno, además de 0.4 ml extracto de harina de café + 1.6 agua destilada + 0.5 reactivo cromógeno.

Para la curva de calibración se preparó la solución cero utilizando 0.4 g de almidón + 40ml de agua destilada, 0.4 g de almidón + 40 ml NaOH 0.1 M, 0.4 g de almidón + 40 ml de CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH al 97 %, 0.4 g de almidón + 40 ml Solución Salina y 0.5 ml del reactivo cromógeno para cada tratamiento.

Se utilizaron 7 diluciones para la calibración del orden de 2,5,11,21,51, 101, 201 veces, donde para cada dilución se tomaron 0.1 ml de almidón y se adiciono respectivamente 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 ml de solución salina, después se agitaron por 5 minutos. Para las lecturas se tomó 0,1 ml de almidón y se añadieron 2,5 ml de yoduro de potasio, por cada dilución.

## **2.6 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphics Centurión XVI, versión 16.1.03; la importancia de las diferencias entre concentraciones y tratamientos se probó mediante el análisis de varianza unidireccional ANOVA. La hipótesis nula en la que todas las concentraciones son iguales fue rechazada puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de concentración entre un nivel de tratamiento y otro.

### 3. Resultados

Las semillas germinadas presentaron los cambios físicos característicos de la germinación, como variación en coloración del endocarpio, el tamaño de la semilla aumento por la absorción de agua, e inicio de emergencia del embrión y desarrollo de raíz de acuerdo al proceso germinativo, como se puede ver en el material complementario (Fig. F1, F2).

Durante el proceso de extracción del almidón, se logró evidenciar que los solventes CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH al 97 % de pureza y NaOH 0,1 M, causaron una degradación del almidón en las muestras, generando gran turbiedad impidiendo así la lectura de absorbancia. Como se muestra en la tabla 2, donde se registra una única lectura.

**Tabla 2.** Absorbancia con solvente Alcohol Etilico e Hidróxido de sodio

		CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH						NaOH 0,1 M			
D	G0	TTO				D	G0	TTO			
		A	S	S+M	S+ANA			A	S	S+M	S+ANA
0	897					0	1345				
20		730	610	458	639	20		1414	1570	1760	1428
40		234	201	274	282	40		1160	1231	1337	1966

Se encontró que el solvente más adecuado para la extracción de almidón fue el agua caliente a una temperatura de 95 +/- 3, entre tanto la solución salina no permitió una buena lectura de absorbancia como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Absorbancia con solvente de solución salina

		Solución Salina			
D	G0	TTO			
		A	S	S+M	S+ANA
0	685				
20		409	320	365	587
40		412	406	498	286

Por lo tanto, se comprobó lo hallado por Pictet y Moreau (1969) citado por Clifford (1985). De esta manera, para el estudio solo se tuvieron en cuenta los datos obtenidos a partir de la extracción con agua caliente.

Las lecturas de absorbancia para almidón mostraron una variación según el sustrato y el tiempo de germinación desde 740 a 203 nm.

La variación de las lecturas de absorbancia de almidón almacenado en el endospermo a través del proceso de germinación se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.** Lectura de Absorbancia, extracción con agua caliente 95 +/- 3 °C.

D	G0	TTO			
		A	S	S+M	S+ANA

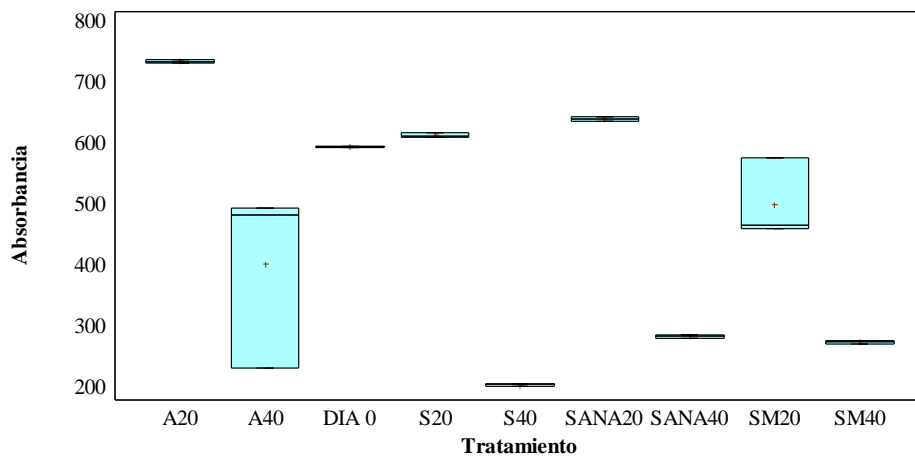
0	597				
20		737	616	502	643
40		405	206	277	286

D: Días, G0: Sin Germinar, A: Arena, S: Suelo, S+M: Suelo + Micorriza, S+ANA: Suelo + ANA ácido Alfa- Naftalenacético

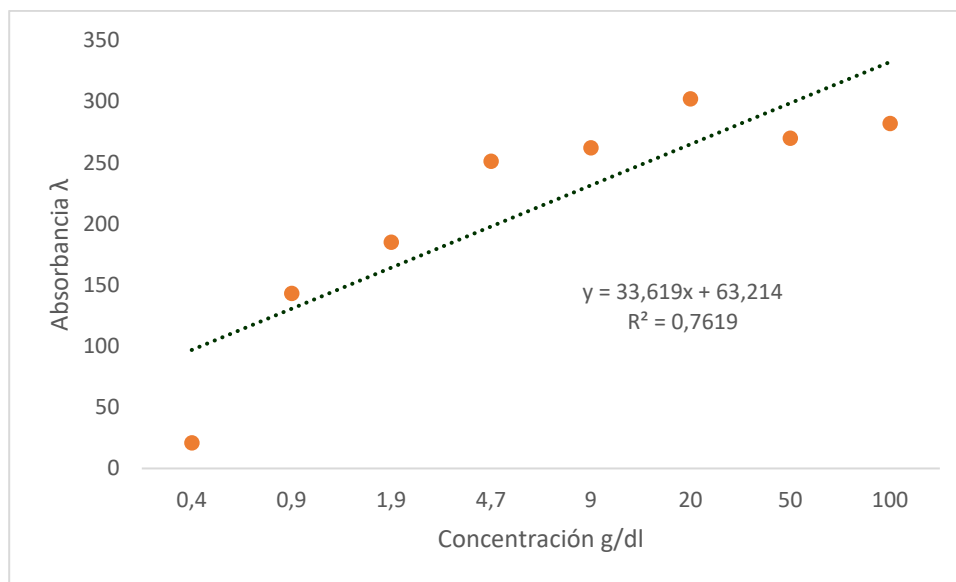
El 11% de las semillas de café, mostraron una lectura de absorbancia sobre 660 nm que fue el valor usado como referencia, y se presentaron en el tratamiento con arena (A) como sustrato de germinación, en contraste con las semillas germinadas en el sustrato de suelo + Micorriza que mostraron valores por debajo de 600 nm, sin embargo, el uso de la hormona de desarrollo radicular ANA presentaron valores muy cercanos a los 660 nm.

De esta manera se puede observar en la figura 1, que los valores de la muestra que se encuentran mas dispersos respecto a la media para los tratamientos de arena (A) a los 40 dias de germinación, al igual que suelo + micorriza (SM) a los 20 dias de germinación.

**Figura 1.** Lectura de Absorbancia de almidón, de acuerdo a los tratamientos y días de germinación.



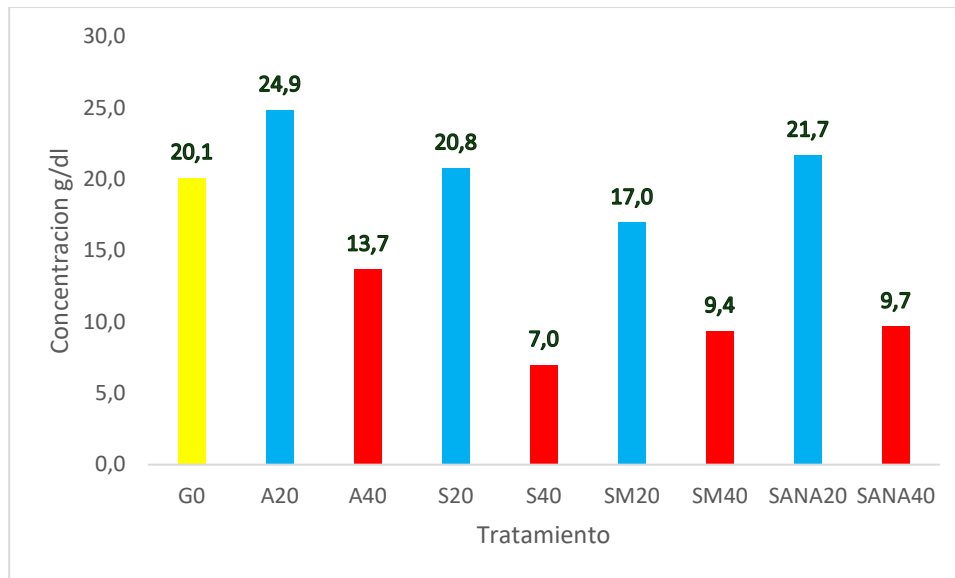
**Figura 2.** Curva de calibración para determinar concentración de almidón, mostrando el contenido de almidón en la harina de café verde de acuerdo a la dilución y la longitud de onda.



Asimismo, de acuerdo a la ecuación de regresión ( $y = 33.619x + 63.214$ ) obtenida a partir de la calibración, se obtuvieron los valores de concentración de almidón., en función de las lecturas del espectrofotómetro con respecto a las dosis aplicadas. Figura 3.

De acuerdo a los contenidos de almidón, se observó que hay un cambio significativo de acuerdo a los sustratos utilizados para la germinación, durante el primer periodo de 20 DDS, como se muestra en la figura 3, con contenidos de almidón entre 25,0 y 17,0 g/dl, además, se aprecia una disminución del almacenamiento de almidón en el endospermo a los 40 DDS.

**Figura 3.** Concentración de almidón en sustratos y periodos de germinación.



**Figura 3.** Relación entre el contenido de almidón y tratamiento aplicado en la germinación. Se muestra como la concentración de almidón extraído a partir de harina de café verde, presenta una reducción en función del tiempo, producto de movilización de este hacia la nueva estructura de crecimiento, como es la raíz.

#### 4. Discusión

El almidón se logra extraer de las diferentes fuentes naturales a través de métodos húmedos, secos o químicos, para el caso de la harina de café verde, el uso de agua caliente a temperatura de  $95 \pm 3^\circ\text{C}$ , fue el método que permitió la mejor extracción, como lo comprobó Clifford (1985) basado en Pictet y Moreau (1969), los granos de café verde contienen muy poco almidón, en estos se encontraron solo 0,48 por ciento de glucano soluble en agua caliente (hasta  $180^\circ\text{C}$ ) en los granos de café verdes.

Una vez realizadas las lecturas de absorbancia se encontró que, con una cantidad insuficiente de almidón en el endospermo, el crecimiento de la raíz podría ser limitado, en consecuencia, la actividad metabólica es más lenta y el proceso de germinación se vuelve más asincrónico, pero en general esta es una característica intrínseca de las semillas de café, como se menciona en estudios anteriores (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Sin embargo, cabe señalar que este estudio se ha centrado en la variación del contenido de almidón en el endospermo en diferentes sustratos, más no en la tasa de disminución del compuesto almacenado respecto a la formación de nuevas estructuras (raíces). Aunque los resultados, no indican que esto sea algo que deba pasarse por alto a la hora de intentar mejorar la tasa de germinación.

Una de las características exhibidas por las semillas en cuanto a la concentración de almidón, fue una pequeña variación que podría deberse a la influencia de las soluciones añadidas al sustrato para acelerar el proceso de germinación (*Micorriza*, ANA), teniendo en cuenta que la asimilación de un inductor de enraizamiento de origen orgánico como la micorriza, es más lenta a comparación de la hormona ANA de origen sintético; mientras que en

comparación con el sustrato arena (A), se podría indicar que el contenido de almidón en el endospermo tiene una menor movilidad lo que hace que el proceso se mantenga bajo parámetros normales.

El comportamiento de los almidones en la semilla del café es escaso y ha sido reportado previamente (Pictet, 1960), aunque sólo a nivel de su influencia como precursor de los atributos de calidad de taza, por lo tanto, conocer la degradación del almidón en los eventos que se llevan a cabo durante la germinación, permiten explorar el posible manejo de estas concentraciones, para obtener plántulas de un mejor vigor.

Aunque en un sustrato inerte como la arena (A) se podrían controlar más fácilmente la acción de los microorganismos nocivos hacia la nueva plántula, también es valioso reconocer el aporte que suelos manejados con inductores de enraizamiento podrían dar, acortando los días de germinación, manteniendo las características de la semilla durante el proceso, sin llegar a que sus compuestos energéticos se disminuyan de tal forma que no se logren plántulas óptimas para la siembra.

Finalmente, a pesar de sus limitaciones, este estudio sugiere que debería tenerse en cuenta un mayor número de variables a la hora de medir el contenido de almidón en el endospermo, por ejemplo, la determinación del contenido de almidón en la longitud y el grosor del tallo podría influir en la tasa de transferencia del endospermo a la nueva estructura. Muchas de las estructuras podrían verse afectadas por los bajos niveles de almidón presentes en el endospermo.

## Agradecimientos

El autor agradece a la Lic. Yeimis Yoana Montealegre Figueroa con su notable apoyo logístico y profesional, al PhD. Emilio Polo por la asesoría en el manejo de las muestras de café, de igual manera al PhD. Nelson Gutiérrez, a la Universidad Surcolombiana sede Neiva.

## Referencias

- Anand, C. G., Kumar, P., & D'souza, G. F. (2014). Pre-mature fruit drop and coffee production in India: A review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19(3), 230,237. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0102-y>
- Bernal, L., & Martínez-Barajas, E. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista Del Centro de Investigación.*, 7, 77–90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34202506>
- Bewley, J. D. M. Y. (1980). Development of Mitochondrial Activities in Pea Cotyledons during and following Germination of the Axis. *Plant Physiol.*, 66, 70,73.
- Clifford, M. . N. (1985). Chemical and physical aspects of green and coffee products. In M.N. Clifford and K.c. Willson (Ed.), *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage* (AMERICAN E, p. 305,374). The Avi Publishing Company, INC.
- De Castro, R. D., & Marraccini, P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. In *Braz. J. Plant Physiol* (Vol. 18, Issue 1).
- Dentan, E. (1985). The microscopic structure of the coffee bean. In M. N. C. and K. C. Willson (Ed.), *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage* (AMERICAN E, p. 293,313). THE AVI PUBLISHING COMPANY, INC.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. In *Cultivos Tropicales* (Vol. 31, Issue 1).
- Eira, M. T. S., Amaral Da Silva, E. A., De Castro, R. D., Dussert, S., Walters, C., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. M.

- (2006). Coffee seed physiology. In *Braz. J. Plant Physiol* (Vol. 18, Issue 1).
- Farah, A., & Dos Santos, T. F. (2015). The Coffee Plant and Beans: An Introduction. In *Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. In *New Phytologist* (Vol. 171, Issue 3, pp. 501–523). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Hoyos Ossa, D. E., Gil-Solsona, R., Peñuela, G. A., Sancho, J. V., & Hernández, F. J. (2018). Assessment of protected designation of origin for Colombian coffees based on HRMS-based metabolomics. *Food Chemistry*, 250(January), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.038>
- ICONTEC. (2003). *Cafe verde. Determinacion de la perdida de masa a 105°C*. ICONTEC. <https://www.icontec.org/>
- Joët, T., Laffargue, A., Descroix, F., Doulebeau, S., Bertrand, B., Kochko, A. de, & Dussert, S. (2010). Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. *Food Chemistry*, 118(3), 693,701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
- MADR - Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. (2021). *Cadena café*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Marshall, C. F. (1985). World Coffee Trade. In M. N. C. A. K. C. WILLSON (Ed.), *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage* (AMERICAN E, p. 260,292). The Avi Publishing Company, INC.
- Matilla, A. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, July, 537,558. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2016/08/matilla-2008.pdf>
- Montilla., J. (2008). *Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio*.
- Morohashi, Y. (1986). Patterns of mitochondrial development in reserve tissues of germinated seeds: A survey. *Physiologia Plantarum*, 66(4), 653,658. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb05594.x>
- Privat, I., Foucrier, S., Prins, A., Epalle, T., Eychenne, M., Kandalaf, L., Caillet, V., Lin, C., Tanksley, S., Foyer, C., & McCarthy, J. (2008). Differential regulation of grain sucrose accumulation and metabolism in *Coffea arabica* (Arabica) and *Coffea canephora* (Robusta) revealed through gene expression and enzyme activity analysis. *New Phytologist*, 178(4), 781,797. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02425.x>
- Puerta Q. (2011). Composición química de una taza de café. In *Avances Tecnicos 414, Cenicafé*. [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)
- Puerta Quintero. (2017). Composición química de elementos minerales en café verde y tostado. *Cenicafé*, 68, 33.
- Schieberle, H.-D. B. · W. G. · P. (2009). *Food chemistry book* (4th ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Vegro, C. L. R., & de Almeida, L. F. (2019). Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. In *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil: A Volume in the Consumer Science and Strategic Marketing Series*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00001-9>
- Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2017). Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259,274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.902804>

**Material complementario**

**Figura F1.** Cambio de coloración en endocarpio; emergencia de raíz.



**Figura F2.** Aumento de tamaño del grano, tras imbibición.

