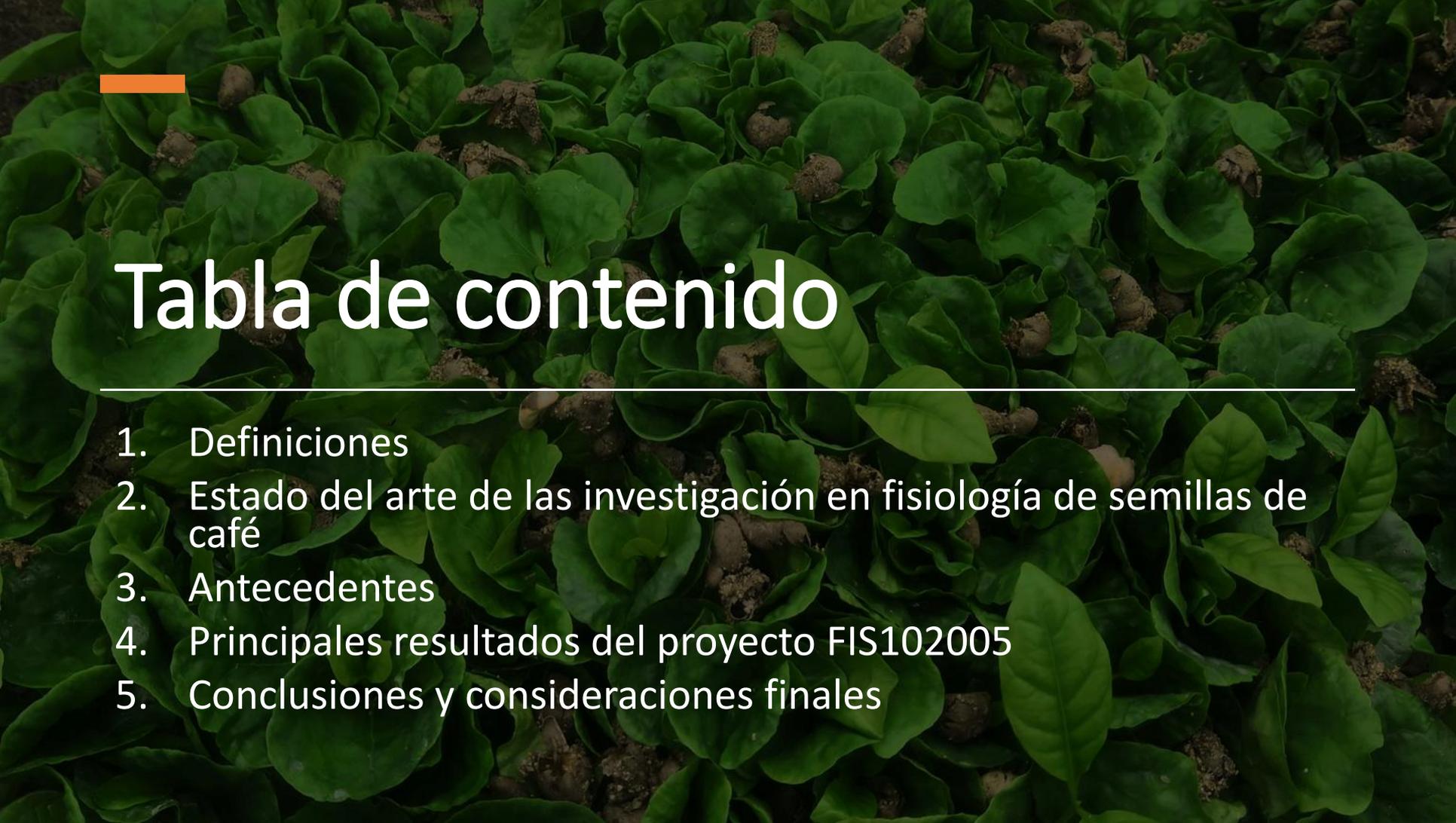




# Fisiología del almacenamiento de semillas de café (*Coffea arabica L.*)

Natalia Catalina Flechas Bejarano  
Fisiología Vegetal





# Tabla de contenido

---

1. Definiciones
2. Estado del arte de las investigación en fisiología de semillas de café
3. Antecedentes
4. Principales resultados del proyecto FIS102005
5. Conclusiones y consideraciones finales

# Importancia del estudio fisiológico de las semillas para la comunidad cafetera

Las semillas son la única **estructura biológica de origen reproductivo** que permite el establecimiento de cultivos de café con elevada calidad en taza, óptimos atributos agronómicos en crecimiento y producción, y con resistencia multilínea a la roya.



Desde el enfoque de la **Fisiología Vegetal** se construyen las **estrategias** para la conservación de la calidad de las semillas para propagación....



# Definiciones

# ¿Qué es una semilla?

La semilla es una estructura que contiene la información genética que da origen a una nueva planta, siendo un rasgo exclusivo de plantas espermatofitas (sinapomorfia), que se clasifican en gimnospermas y angiospermas.

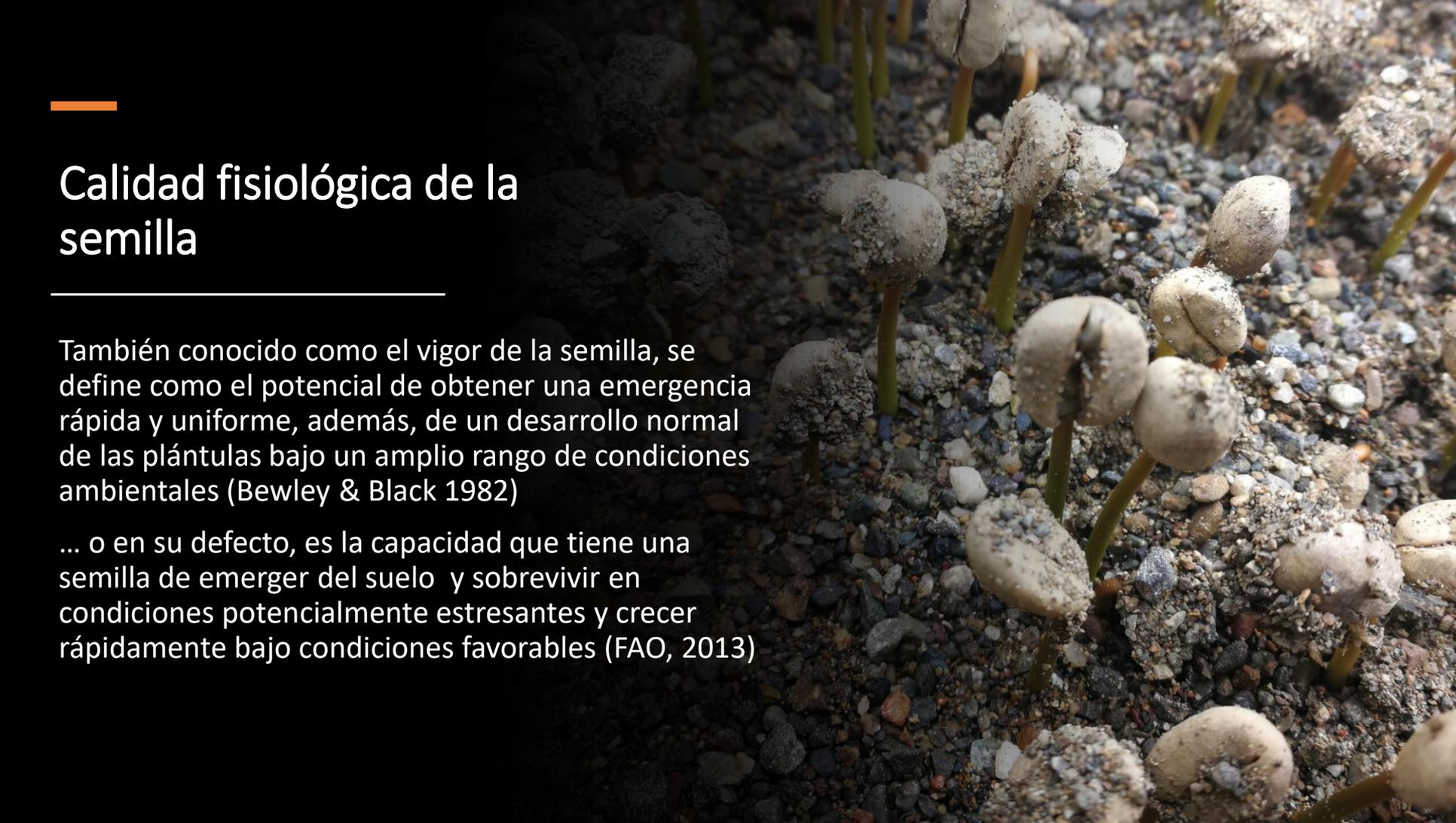
*Las semillas de café son de plantas angiospermas*



*Gimnosperma*



*Angiosperma*

A close-up photograph of numerous seeds germinating on a surface of small, dark, pebbly gravel. Each seed has a small, green, fibrous root (radicle) extending downwards into the gravel. The seeds are light-colored, possibly beige or off-white, and some show a small crack or opening where the root has emerged. The background is dark and out of focus.

## Calidad fisiológica de la semilla

También conocido como el vigor de la semilla, se define como el potencial de obtener una emergencia rápida y uniforme, además, de un desarrollo normal de las plántulas bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Bewley & Black 1982)

... o en su defecto, es la capacidad que tiene una semilla de emerger del suelo y sobrevivir en condiciones potencialmente estresantes y crecer rápidamente bajo condiciones favorables (FAO, 2013)



# Protrusión radicular

Se conoce como el proceso que culmina en la emergencia del eje embrionario radicular a través del endospermo.

**No es considerada como GERMINACIÓN**, pues no se completa el desarrollo de la plántula.

---





## Germinación (Sentido estricto)

Se define como la ejecución sistemática de los procesos fisiológicos que culminan en la emergencia de una plántula completa con capacidad de establecimiento en campo. **También se conoce como emergencia de la chapola.**





# Dormancia

Estado de inactividad metabólica en el que las semillas se preparan para germinar (dormancia primaria) o en su defecto, cuando las semillas no pueden iniciar con los procesos fisiológicos para germinar por condiciones ambientales inhóspitas o deterioro de la maquinaria metabólica, lo cual se conoce como dormancia secundaria.

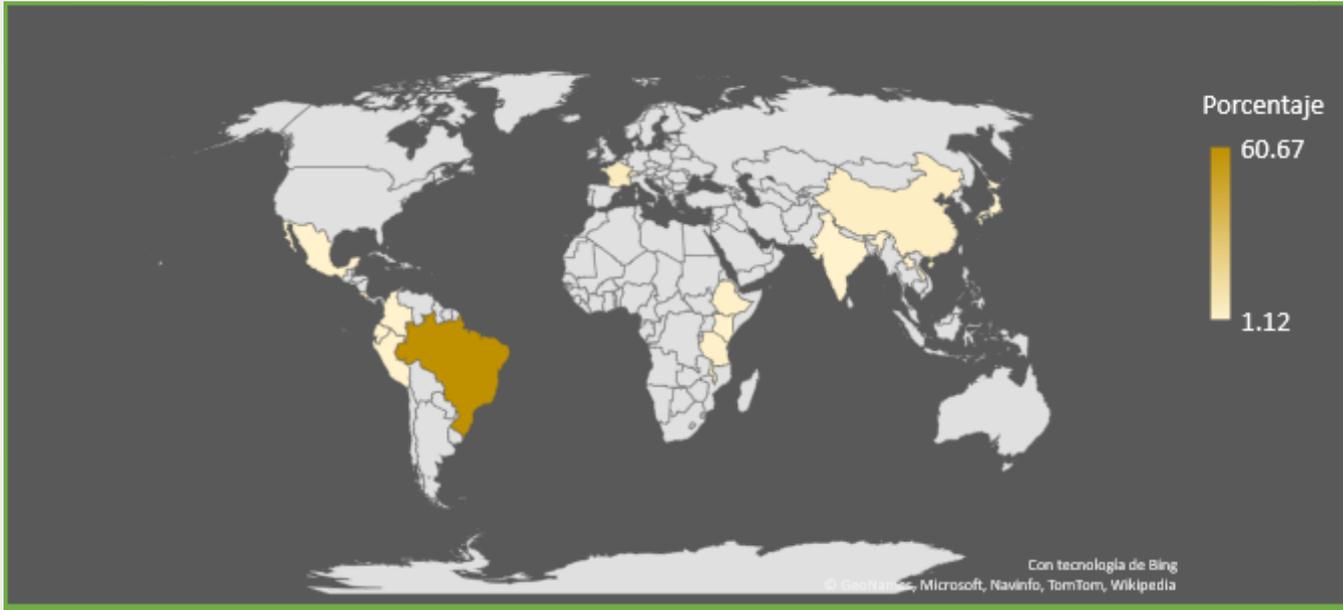
---





*Estado del arte de la investigación*

# Investigaciones lideradas en fisiología de la semilla del café a nivel mundial [1961-2020]



*¡Solo el 4% de las investigaciones está enfocadas a entender como las semillas de café se comportan en almacenamiento por tiempos prolongados!*

# Investigaciones publicadas de Cenicafé

Liberación de la variedad de café resistente a la roya-Colombia

HECHO HISTÓRICO PARA EL ESTUDIO DE LA FISIOLÓGIA DE SEMILLAS

2

Alejandro Fernández Quintero

Estudio del almacenamiento de la semillas de café variedad Colombia. Consideraciones de secado: 36-40°C, HR: 50%, T: 10°C

4

Proyectos actuales

FIS102007: Evaluación del efecto de empaque en el almacenamiento de la semilla *Coffea arabica*

FIS102003: Validación de un método de criopreservación de semillas de *Coffea sp.*

FIS102005:

1975

1

José Horacio Rivera-Jaime Castillo-Zapata

"Principios generales de almacenamiento de las semillas" -Cenicafé  
HR: 50% (1 año); Humedad en grano: 10%; Temperatura: 10°C

1980

1984-87

3

Auge de la investigación en conservación de las semillas y emergencia de chapolas-Jaime Arcila

Morfología, germinación, acumulación peso seco, indicadores de la germinación

1988

2018-19

5



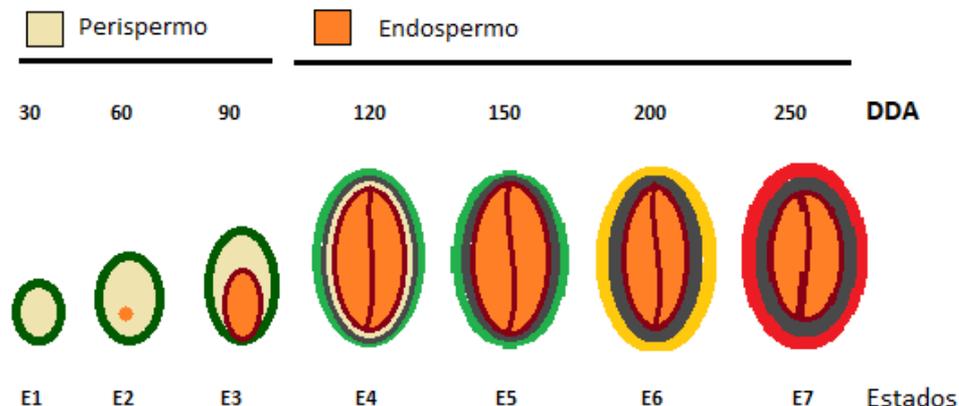


*Antecedentes*



# Biología y Desarrollo de la semilla de café

# Desarrollo de las semillas de café



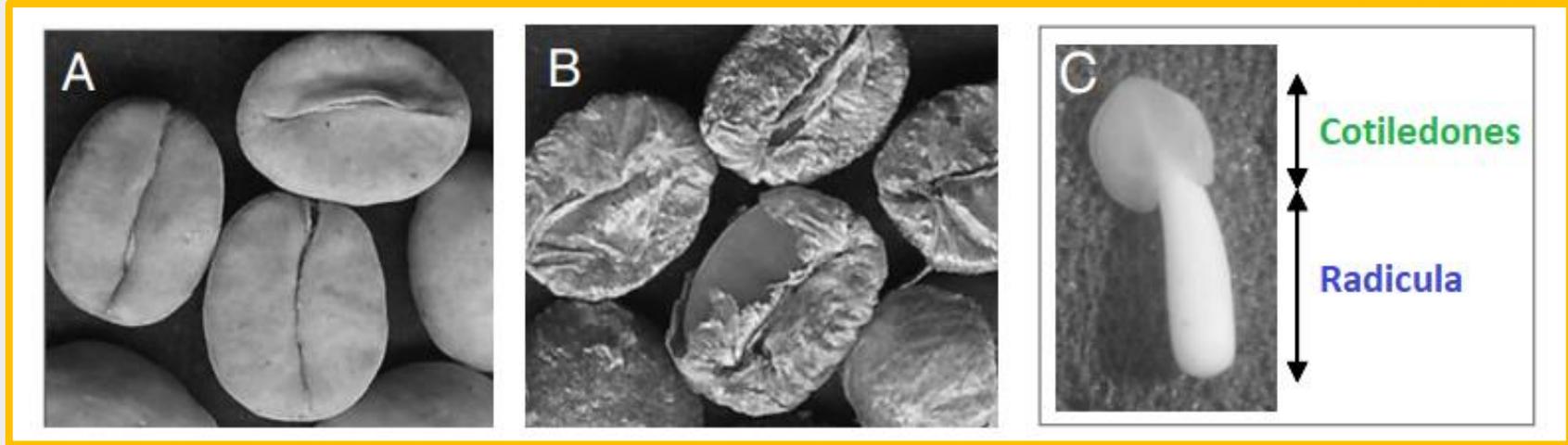
**E1-E4:** Proliferación celular en el perispermo

**E5-E7:** Ganancia de tolerancia a la desecación

<b>E1</b>	Crecimiento significativo del perispermo
<b>E2</b>	Crecimiento significativo del perispermo
<b>E3</b>	Desarrollo del endospermo
<b>E4</b>	Crecimiento rápido del endospermo y llenado del lóculo, acumulación de grasas
<b>E5</b>	Deposición de los galactomananos en el endospermo (endurecimiento de la almendra)
<b>E6</b>	Finalización de la acumulación de reservas
<b>E7</b>	Maduración completa de los frutos y semillas

Stéphane Dussert, Julien Serret, Aldecinei Bastos-Siqueira, Fabienne Morcillo, Eveline Déchamp, Valérie Rofidal, Philippe Lashermes, Hervé Etienne, Thierry JOët, Integrative analysis of the late maturation programme and desiccation tolerance mechanisms in intermediate coffee seeds, *Journal of Experimental Botany*, Volume 69, Issue 7, 16 March 2018, Pages 1583–1597, <https://doi.org/10.1093/jxb/erx492>

# ¿Cómo son las semillas de *Coffea arabica* L.?



*Café pergamino*

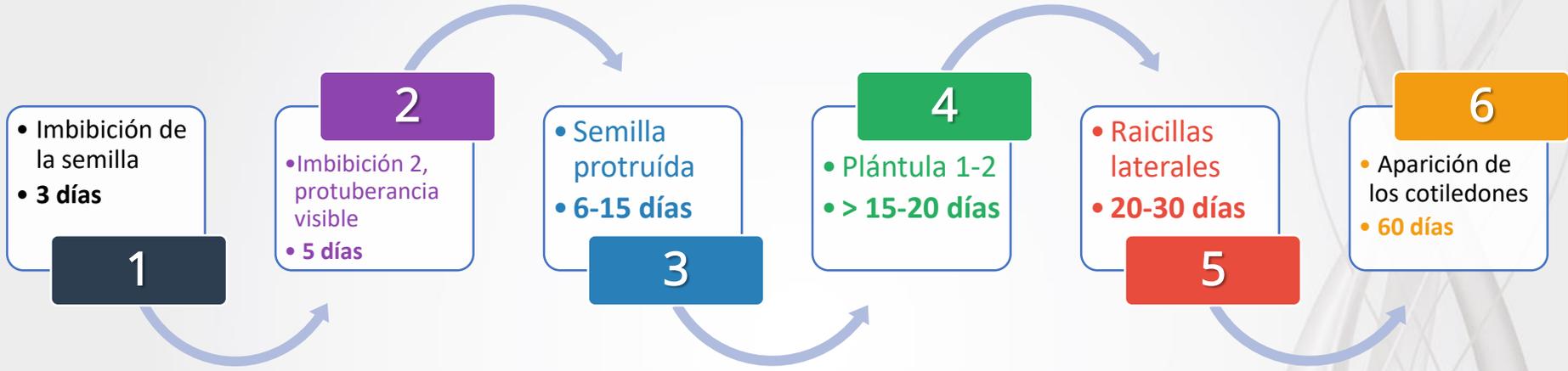
*Almendra*

*Embrión*

Da Rosa, S. D. V. F., McDonald, M. B., Veiga, A. D., Vilela, F. D. L., & Ferreira, I. A. (2010). Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. *Seed Science and Technology*, 38(2), 421-431.



# Fenología de la germinación del café (propagación)



Proceso sistemático de germinación de la semilla

A close-up photograph of coffee beans, showing a gradient from light, almost white, beans at the top to dark, almost black, beans at the bottom. The beans are piled together, and their characteristic shape and central groove are clearly visible.

# Fisiología del almacenamiento del café

# ¿Porqué y para qué se almacena semilla?

---

El almacenamiento permite conservar la capacidad germinativa de las semillas por periodos prolongados de tiempo, lo cual permite renovar cultivos. Sin embargo... **EL ALMACENAMIENTO TAMBIÉN PUEDE DAÑAR LAS SEMILLAS**, por eso es necesario conocer las propiedades fisiológicas y ambientales que permitan estimar las condiciones de temperatura, humedad relativa y concentración de gases atmosféricos que favorezcan la conservación de una elevada germinación de calidad por periodos prolongados.

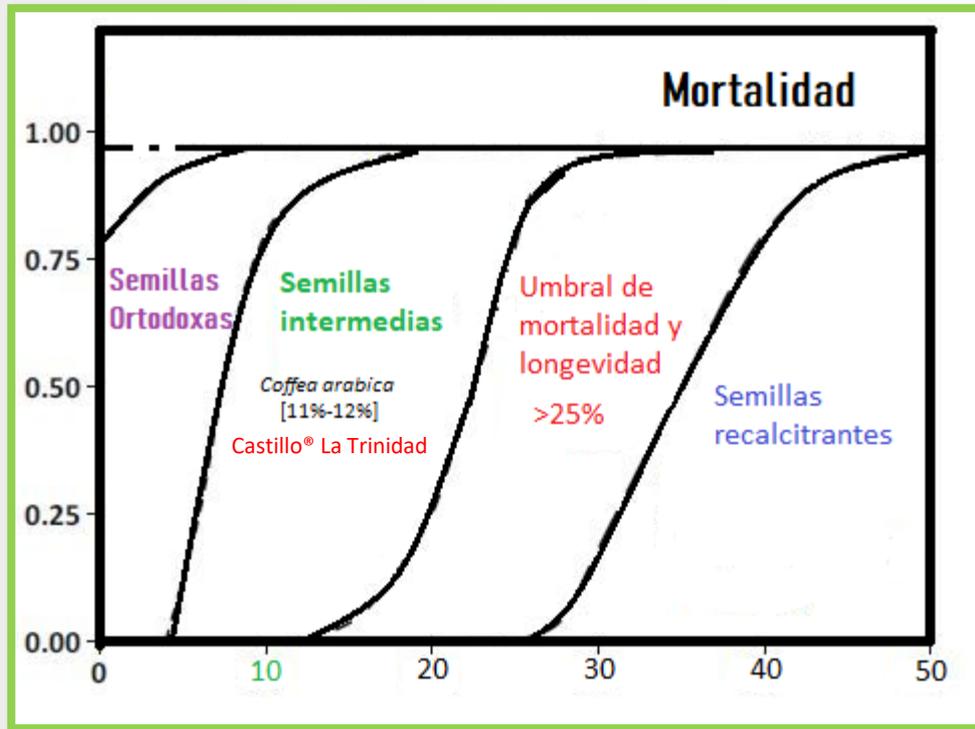
---



# Fisiología del almacenamiento en las semillas

*Respuesta ante la pérdida del agua, tolerancia a la desecación y longevidad*

Proporción de semillas germinadas



Contenido de humedad % PS.

- ✓ Las semillas ortodoxas toleran una deshidratación igual al 1%, pueden ser almacenadas a bajas temperaturas (generalmente a  $-20^{\circ}\text{C}$ ).
- ✓ Las semillas recalcitrantes, no toleran la deshidratación, pues pierden la capacidad de germinar, por lo tanto, la criopreservación es la única estrategia para su conservación.
- ✓ Las **SEMILLAS INTERMEDIAS** como *Coffea arabica* L., toleran una deshidratación entre el 10% y el 20% en peso seco de la semilla. No pueden ser almacenada en condiciones muy cálidas ni muy frías.

# ¿Qué sucede en la semilla almacenada?

Contenido de humedad  
11-12%

Condiciones húmedas y frías

Entrada de agua

Imbibición

Germinación

Procesos dependientes  
De humedad y  
temperatura ambiental

Degradación

Dormancia o muerte

Salida de agua

Dormancia

Condiciones secas y cálidas

*Tiempo de  
almacenamiento*



## Requisitos biológicos para germinar...

- Proteínas funcionales
- Degradación de carbohidratos
- Integridad de las membranas celulares
- Mitigar el estrés oxidativo.

A close-up photograph of coffee beans, showing their characteristic oval shape and central groove. The beans are densely packed and fill the entire frame. The lighting is soft, highlighting the texture of the bean surfaces.

# Estándares de regulación y de evaluación



# Normatividad ISTA

Entidad internacional fundada en 1924, cuyo objetivo central es el desarrollo y publicación de conocimiento estándar para la evaluación del desempeño de las semillas en campo. Distribuido en 80 países, entrelaza su conocimiento en red con entidades gubernamentales de diferentes tipos de economías. En Colombia, el **ICA** (Instituto Colombiano Agropecuario) se somete a la normatividad ISTA para la evaluación de la calidad de las semillas.

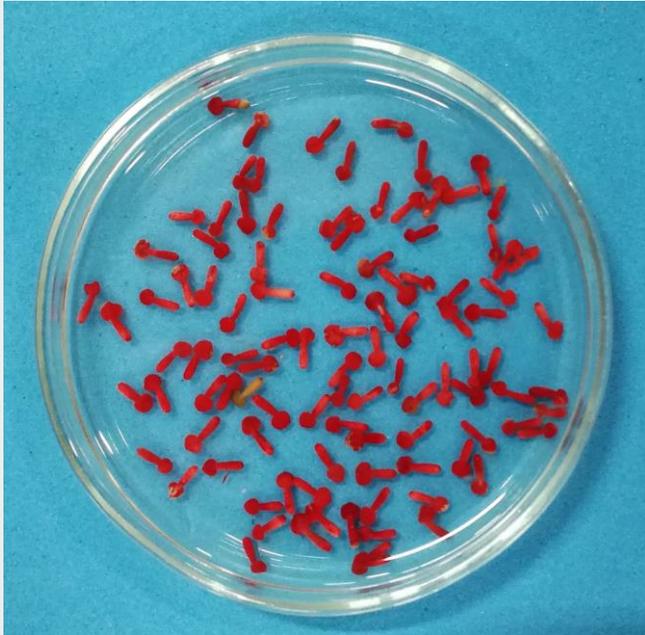


*Asociación internacional de evaluación de semillas*



# Evaluación de la viabilidad de las semillas

## *Tinción con la sal de cloruro de tetrazolio*



**Principio:** La prueba topográfica con la sal de tetrazolio permite cuantificar la proporción de embriones viables que son notoriamente visibles por la coloración roja carmesí resultante, por la reacción de las enzimas deshidrogenasas activas con la sal liberando el producto tóxico formazan.

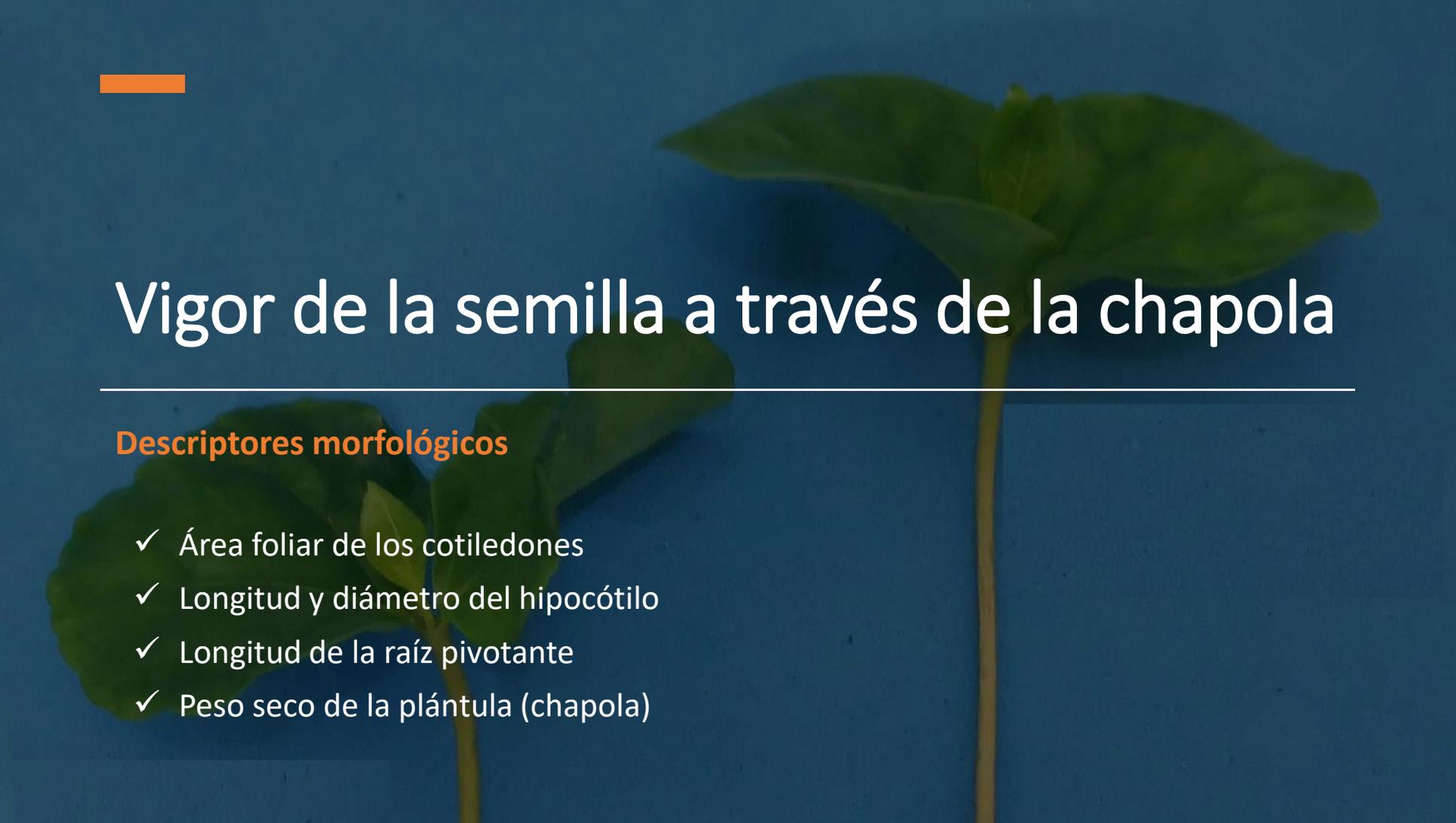
## Porcentaje de protrusión de la radícula y emergencia de plántula

**Principio:** Se fundamenta en el conteo de semillas con la radícula protruída.

En cuanto a las plántulas (Chapolas) es importante que emerjan con sus estructuras completas (par de cotiledones, hipocótilo y raíz), sin revisión de la calidad inicial, a los 60 días de haber sembrado las semillas.



Conteo en caja mantequillera



# Vigor de la semilla a través de la chapola

---

## Descriptores morfológicos

- ✓ Área foliar de los cotiledones
- ✓ Longitud y diámetro del hipocótilo
- ✓ Longitud de la raíz pivotante
- ✓ Peso seco de la plántula (chapola)



*Resultados de investigación*



FIS102005: Efecto del almacenamiento en la viabilidad, germinación y vigor en semillas de café bajo diferentes condiciones ambientales

# Objetivo

Evaluar el efecto de la temperatura y de la humedad relativa durante el almacenamiento prolongado en la viabilidad, germinación y vigor de las semillas de café de la variedad Castillo<sup>®</sup> La Trinidad.

# Ambientes de almacenamiento- Tratamientos



**Temperatura:  $7,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ ; HR:  
 $90 \pm 3,5\%$   
TTO1**



**Temperatura:  $10,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; HR:  
 $65 \pm 7\%$   
TTO2**



**Temperatura:  $25 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ ; HR:  
 $55 \pm 1\%$   
TTO3**

*15 meses de almacenamiento*

# METODOLOGÍA ESTÁNDAR CENICAFÉ-NORMATIVIDAD ISTA



**Almacenamiento (15 meses)**

**TTO1 [7,5°C; 90%HR]**

**TTO2 [10°C; 66%HR]**

**TTO3 [25°C; 55%HR]**

1000 semillas\*prueba **[EVALUACIÓN MENSUAL/TRATAMIENTO]**

**Viabilidad**

Conteo de embriones

Tinción de tetrazolium 0,5%

**Protrusión radicular**

Conteo de 10 cajas (100 semillas/caja)

Porcentaje de protrusión

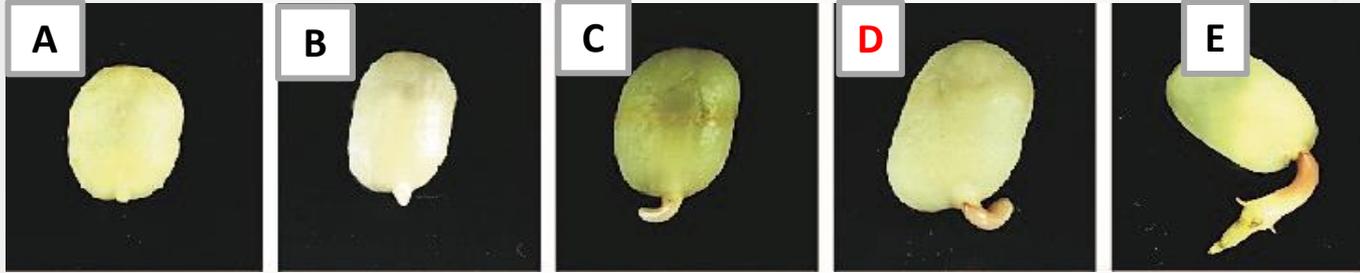
**Vigor de semillas**

Parámetros de calidad de las chapolas

Clasificación en 200 plántulas



# Protrusión radicular



Guía para la implementación del Protocolo “Producción de semilla de café de variedad Castillo® y sus compuestos regionales”. (Chaparro C., et al 2014)



**TTO1: 7,5°C/90%HR**

**TTO2: 10°C/65%HR**

**TTO3: 25°C/55%HR**

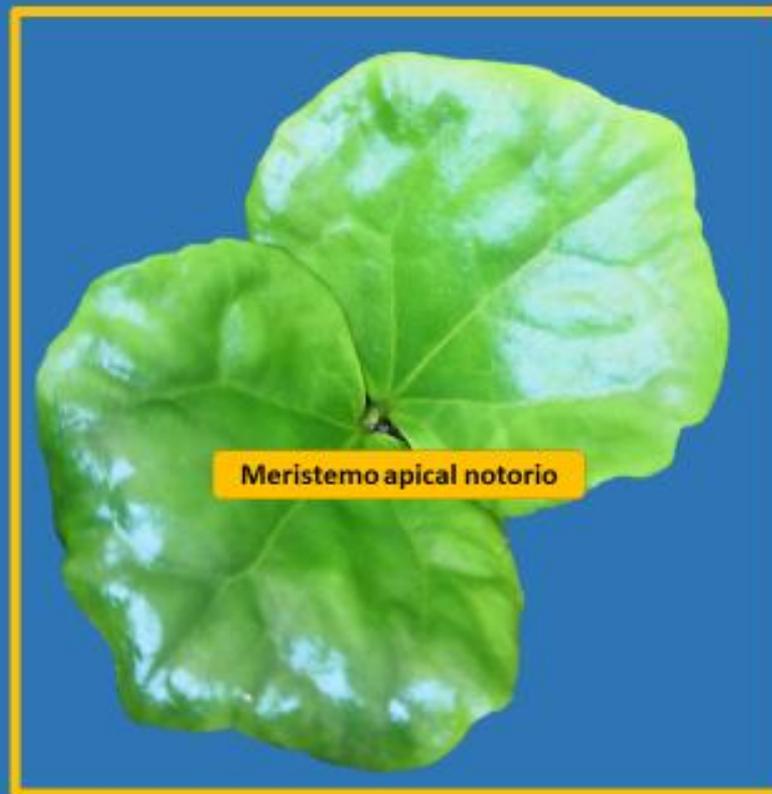
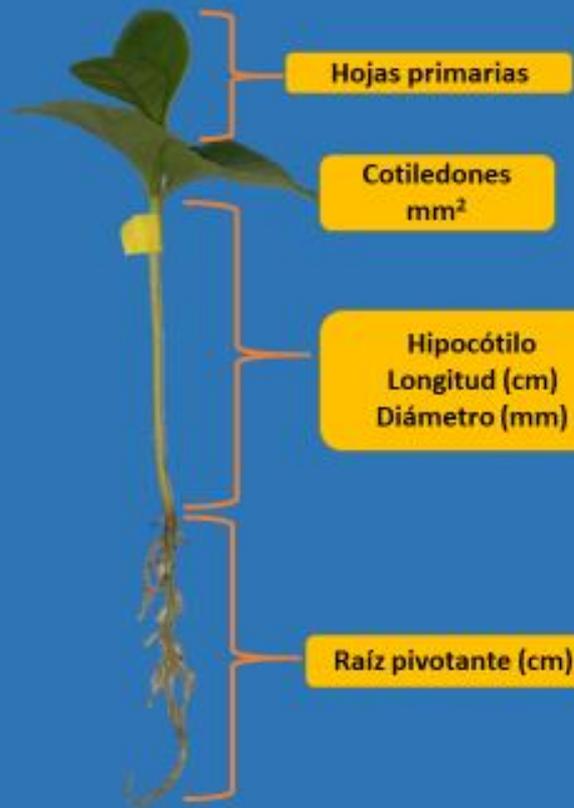


# Vigor de la semilla



Evaluación del vigor de la semilla en Fitotrón con temperatura 20/30°C; RFA de 400  $\mu\text{mol fotones} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 10/14 fotoperiodo (recomendación del ICA) en germinador de arena estándar bajo criterios de Cenicafé para el manejo de germinadores

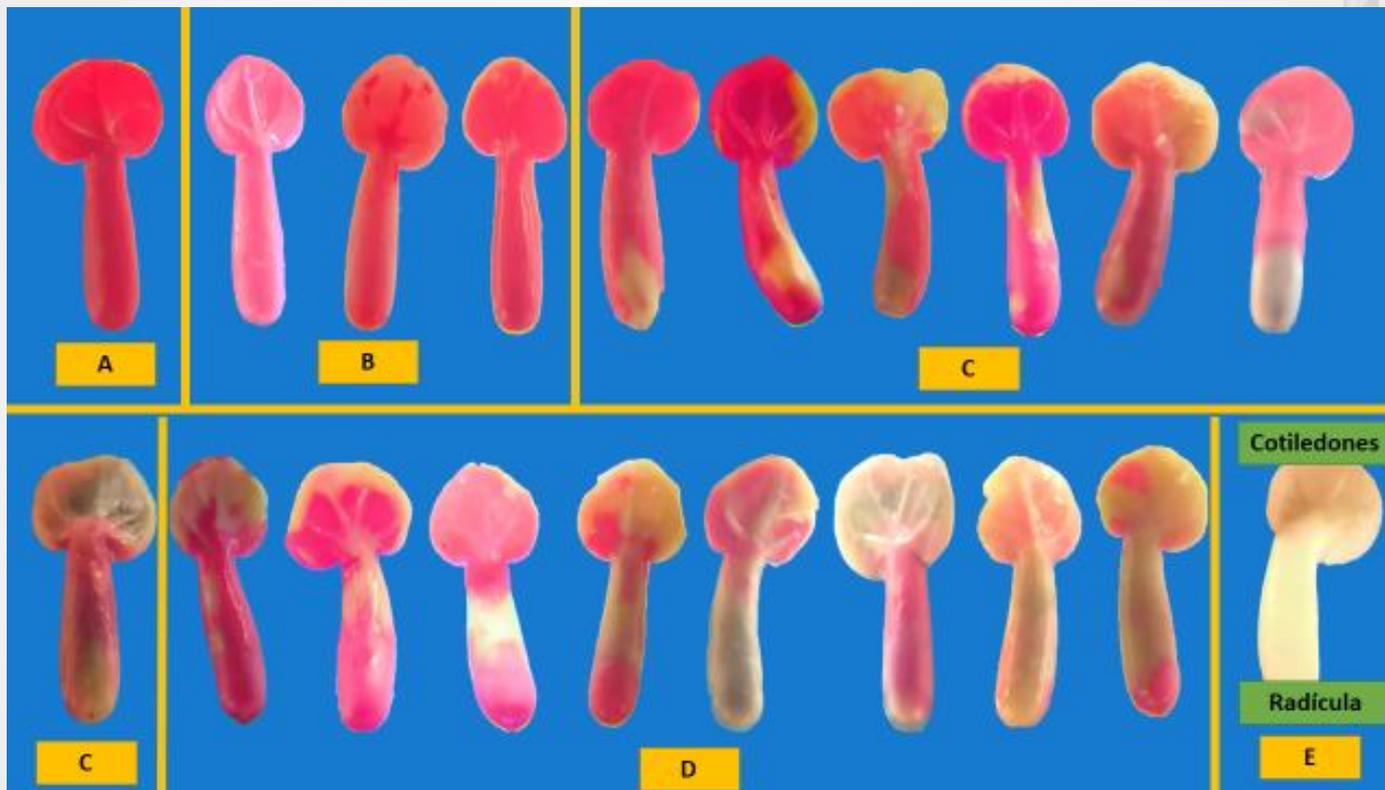
# Mediciones morfométricas





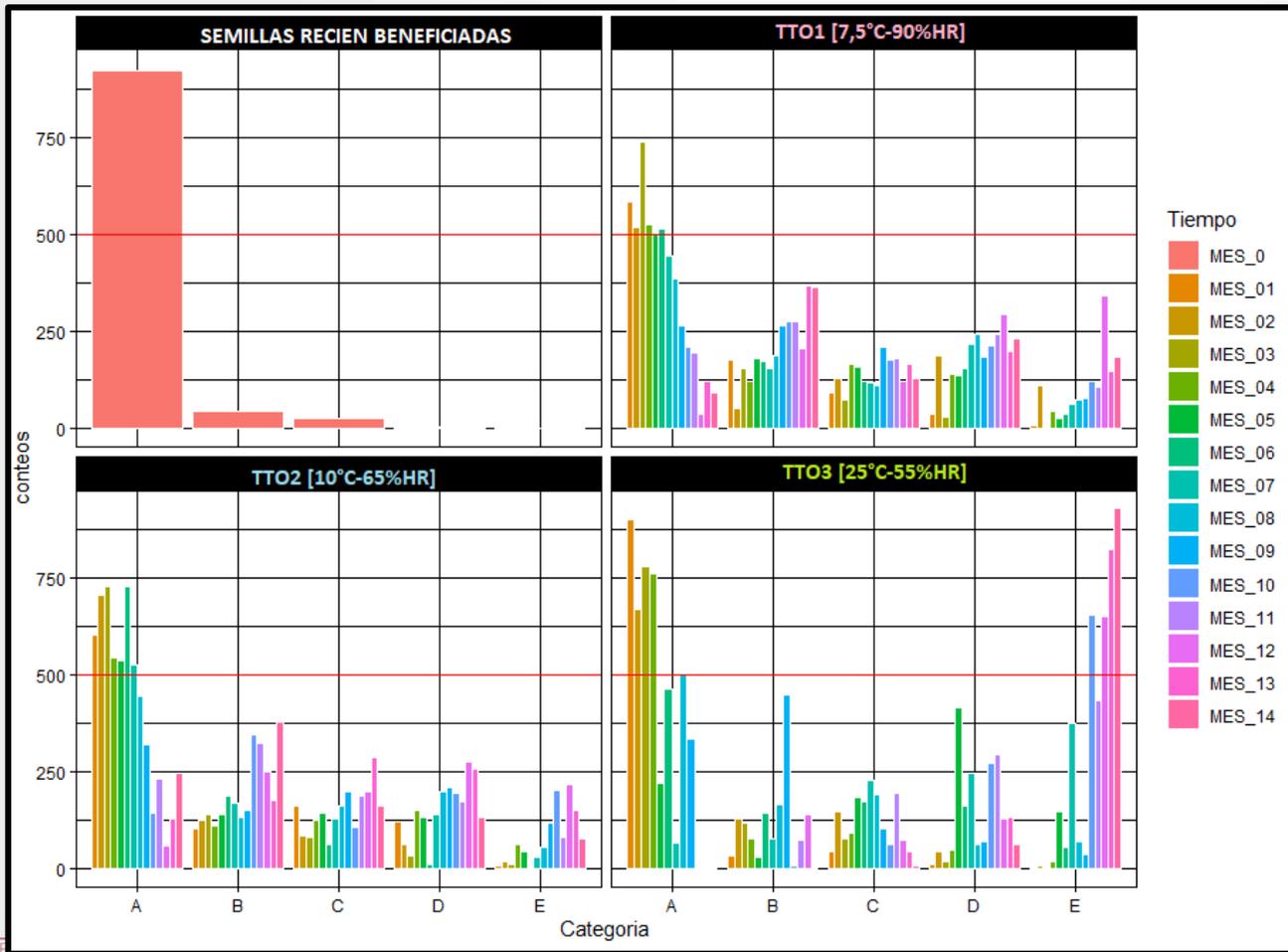
Resultados

# Viabilidad de las semillas de café



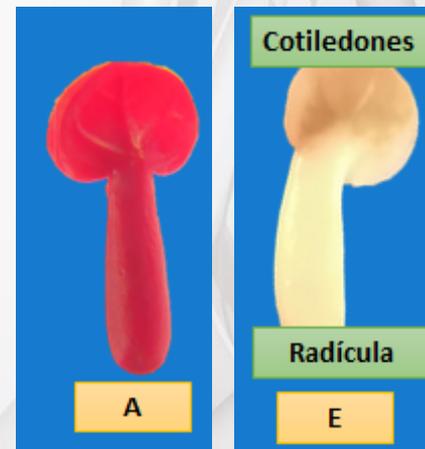
**Figura 1.** Discriminación de patrones de pigmentación en embriones de café teñidos con cloruro de tetrazolio al 0,5%. **A.** Tinción completa e intensa de todo el embrión, el color es rojo carmesí; **B.** embriones de color rosado y/o decoloraciones en el contorno de los cotiledones o de la radícula; **C.** embriones con decoloraciones marcadas en los cotiledones, radícula o en ambos, sin perder la conectividad en todo el embrión; **D.** Parches de decoloración que superan el 50% del área del embrión, o en su defecto, desconecta los cotiledones de la radícula; **E.** Embrión sin teñir.

# Conteo de embriones

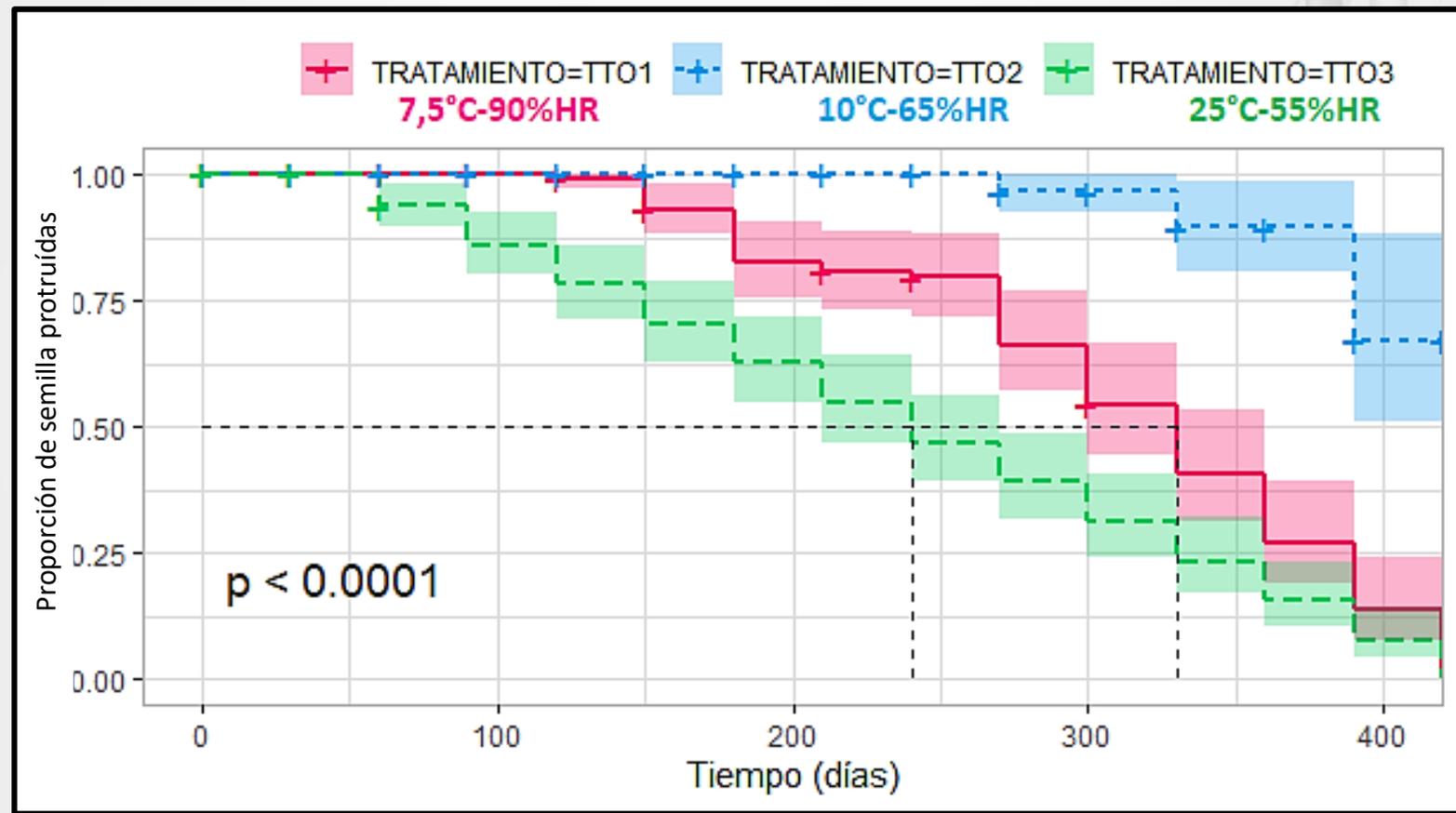


Conforme con el análisis de correspondencia múltiple realizado (ACM), sólo las categorías A y E son representativas en el estudio.

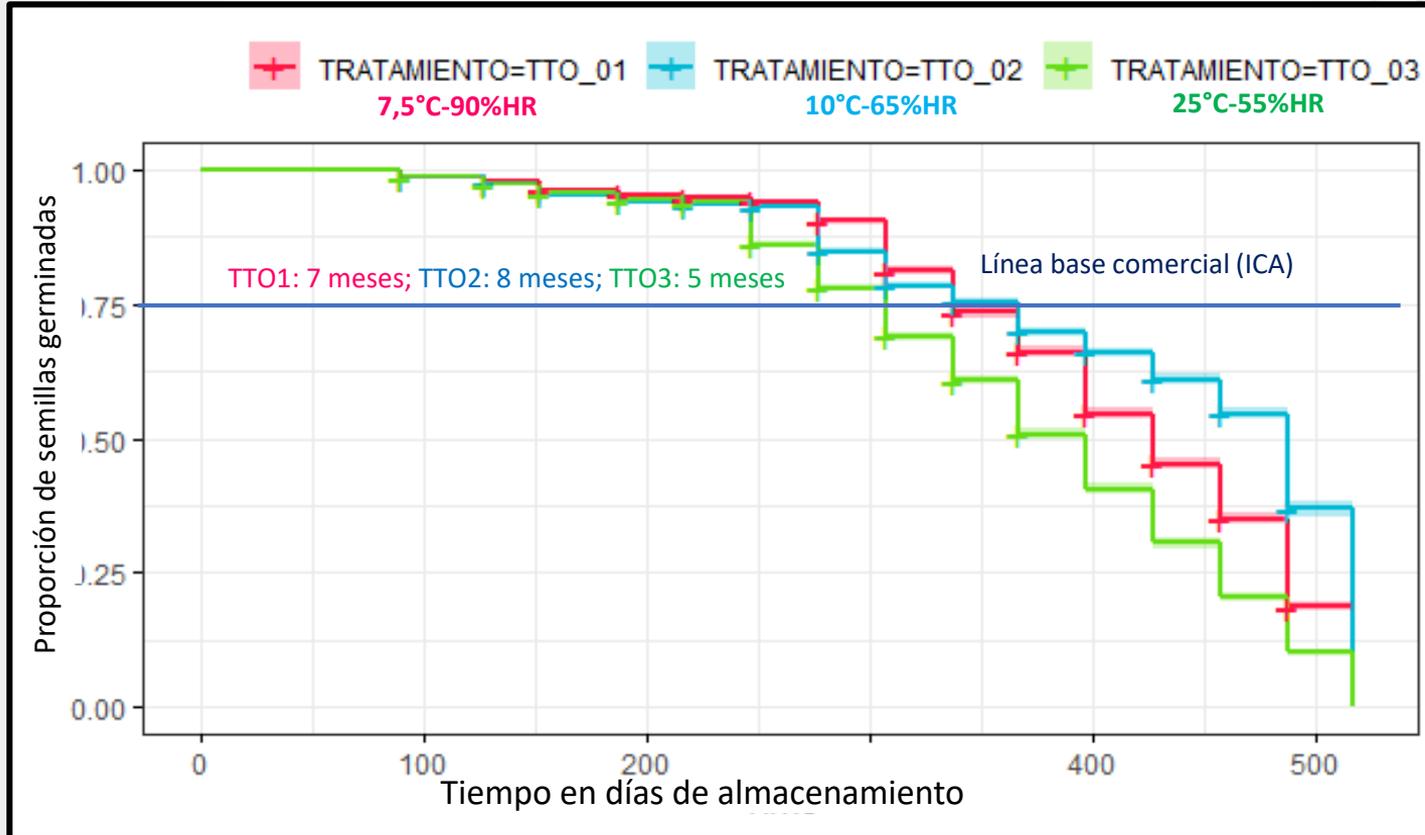
La prueba de tinción con cloruro de tetrazolio, sólo permite identificar si las semillas han estado almacenadas.



# Protrusión radicular



# Germinación (Emergencia de las chapolas)







# Mediciones morfométricas de las chapolas



	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	
Área de los cotiledones (cm <sup>2</sup> )	90,9	97	95,9	90,5	78,7	87,9	82,9	99,4	81,3	77,7	91,7	98,2	174	TTO1
	90,9	95,1	91,5	85,4	81,4	73,9	79,4	79,4	76,2	85,4	93	98,8	125	TTO2
	90,9	89,2	88,7	85,3	84,3	88,5	66,5	76,1	93,4	89,2	63	NA	NA	TTO3
Longitud del hipocótilo (cm)	5,8	8,1	8,1	7,1	8,1	8	7,3	5,5	6,6	4,7	5,4	4,3	5,7	TTO1
	5,8	7,5	7,4	6,7	5,6	8	7,1	6,7	8,1	5,7	5,5	5,6	5,8	TTO2
	5,8	6,8	8,1	6,3	6,8	5,3	4,9	4,6	5,5	3,8	3,4	NA	NA	TTO3
Diámetro del hipocótilo (mm)	0,19	0,26	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,19	0,20	0,20	0,18	0,19	TTO1
	0,19	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	TTO2
	0,19	0,18	0,18	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,19	0,18	0,18	NA	NA	TTO3
Longitud de la raíz (cm)	10,1	11,5	11,7	11,2	9	8	9,5	9,7	9,1	7	6,7	8,9	7,4	TTO1
	10,1	11,5	11	12	11,4	11	12,6	10,2	10,5	9	8,2	10	7,7	TTO2
	10,1	11,2	11,7	12,6	8,6	9,8	7,8	8,6	10	8,5	8,5	NA	NA	TTO3
Peso seco chapola (g)	0,13	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,11	0,12	0,13	0,09	0,12	0,13	0,14	TTO1
	0,13	0,10	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,12	0,09	0,10	0,11	0,14	0,14	TTO2
	0,13	0,09	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,12	0,18	0,14	0,15	NA	NA	TTO3

**TTO1:**  
7,5°C/90%  
HR

**TTO2:**  
10°C/65%  
HR

**TTO3:**  
25°C/55%  
HR

# Interpretación

TTO1: 7,5°C/90%HR; TTO2: 10°C/65%HR; TTO3: 25°C/55%HR

Descriptor morfológico	Tratamiento	Incremento	Disminución	Significado
Longitud del hipocótilo (cm)	TTO1	[M1-M6]	M7 en adelante	El TTO2 es el ambiente de almacenamiento que menos afecta el vigor de las chapolas germinadas, conforme con los descriptores evaluados como la longitud del hipocótilo y de la raíz pivotante.
	TTO2	[M1-M8]	M9 en adelante	
	TTO3	[M1-M4]	[M5-M10]	
Longitud de la raíz pivotante (cm)	TTO1	[M1-M3]	M4 en adelante	
	TTO2	[M1-M8]	M9 en adelante	
	TTO3	[M1-M3]	M4 en adelante	

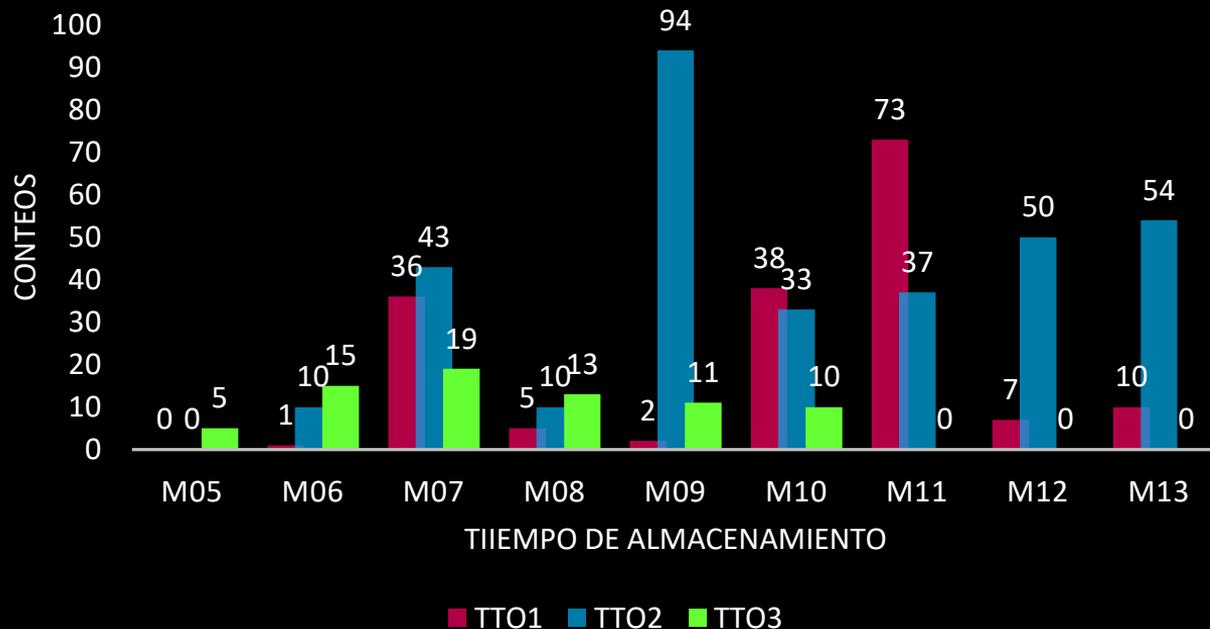
# Tendencia de la aparición de chapolas con cotiledones característicos

TTO1: 7,5°C/90%HR

TTO2: 10°C/65%HR

TTO3: 25°C/55%HR

## CHAPOLAS ATRASADAS

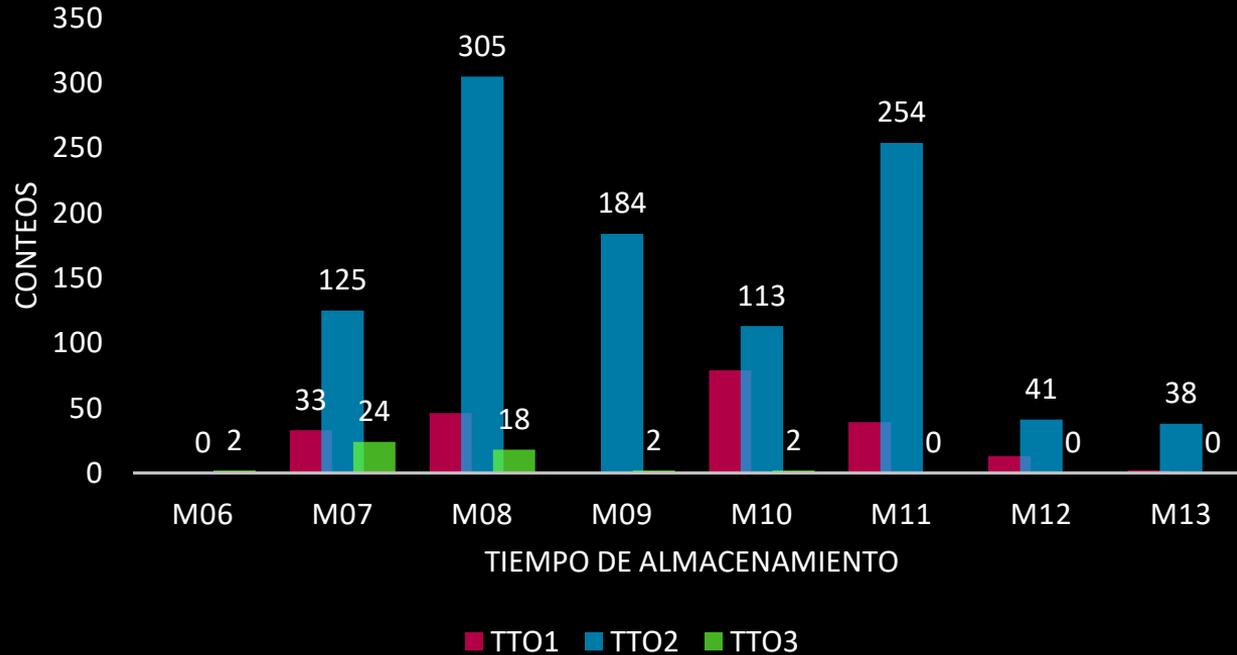


TTO1: 7,5°C/90%HR

TTO2: 10°C/65%HR

TTO3: 25°C/55%HR

## CHAPOLAS CLORÓTICAS

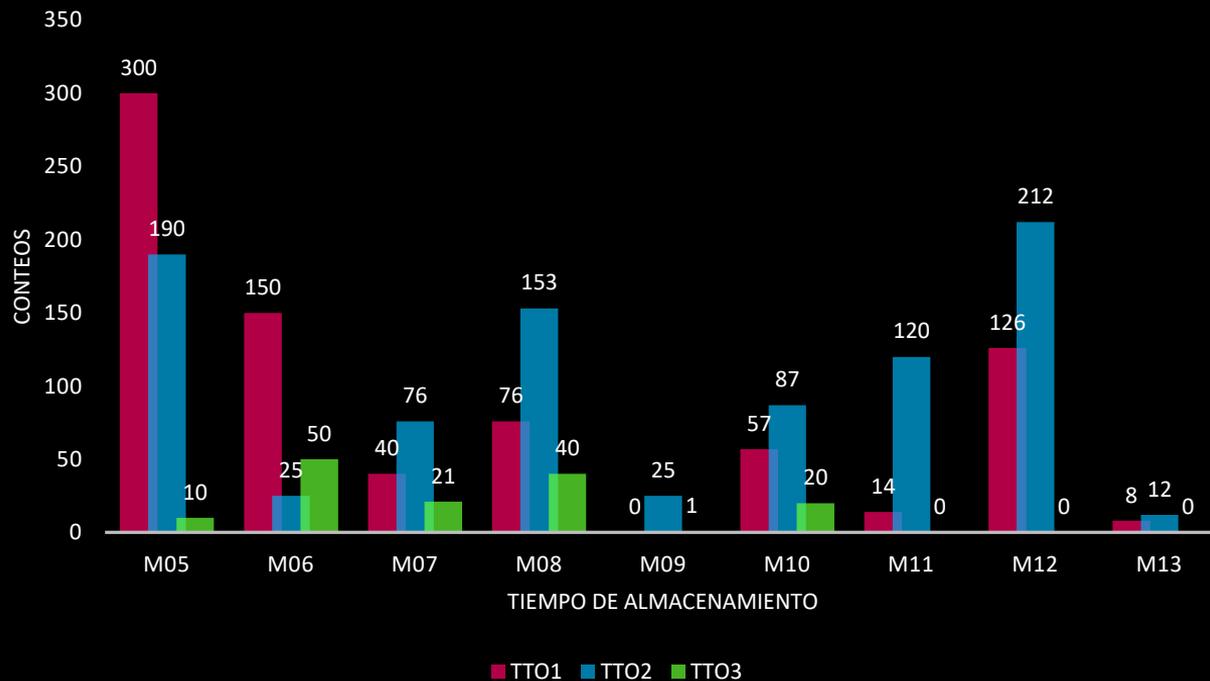


TTO1: 7,5°C/90%HR

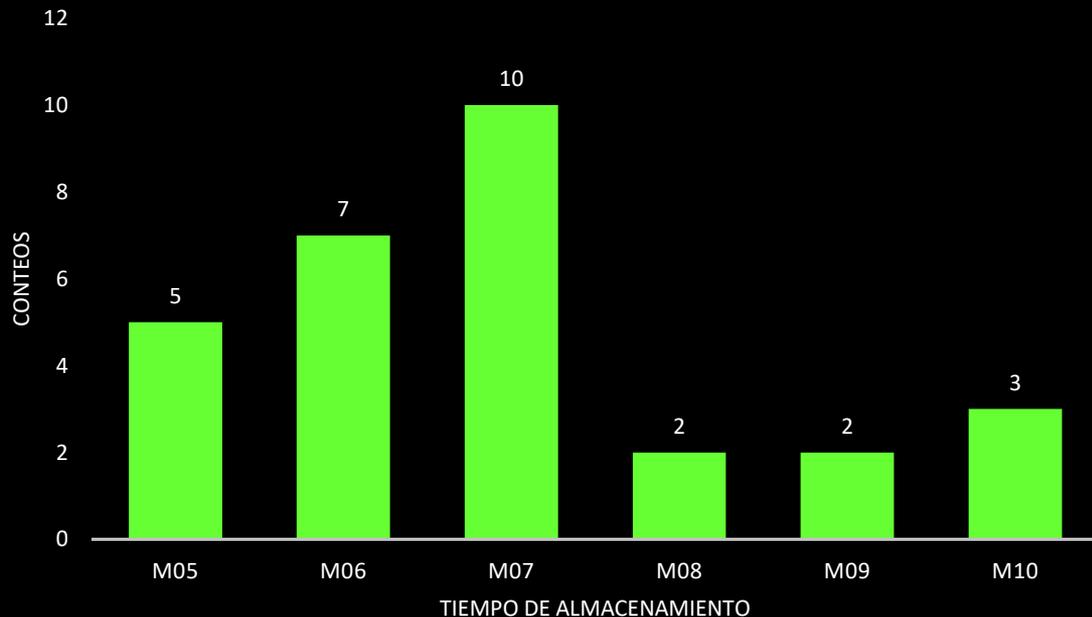
TTO2: 10°C/65%HR

TTO3: 25°C/55%HR

## CHAPOLAS HOJAS VERDADERAS CLORÓTICAS



# Exclusivo del TTO3- Chapola de crecimiento anómalo



TTO3:25°C/55%HR

# Conclusiones y consideraciones finales

- El TTO2 de almacenamiento (T:10°C y HR:65%) mantiene la germinación/emergencia de las chapolas mayor al 75% hasta ocho meses, seguido por el TTO1 (T:7,5°C y HR: 90%) por siete meses y el TTO3 (T:25°C y HR: 55%) por cinco meses.
- A partir del quinto mes de almacenamiento, se hacen notorios los defectos en los cotiledones de algunas chapolas germinadas en todos los tratamientos.
- La tinción con el cloruro de tetrazolio no es una técnica sensible para evaluar la calidad fisiológica de la semilla de café, pues solo distingue entre semillas recién beneficiadas y semillas con algún grado de almacenamiento, pues la proliferación de las categorías es independiente del tiempo y del tratamiento de almacenamiento.



Las semillas de café pueden estar almacenadas hasta cuatro meses sin afectación significativa en el vigor de las chapolas emergentes en las condiciones ambientales del TTO2 [Temperatura: 10°C y humedad relativa: 65%]



# Síguenos



[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)



[agroclima.cenicafe.org](http://agroclima.cenicafe.org)



@cenicafe



cenicafé

