



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA

CIELO GUADALUPE DEL PORTE MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada “FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA” realizada por la alumna CIELO GUADALUPE DEL PORTE MORALES, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Gabino García de los Santos

ASESOR:



Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón

ASESOR:



M.C. Adrián Hernández Livera

ASESOR EXTERNO:



Dr. Esteban Escamilla Prado

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2021

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DURANTE EL MANEJO POSCOSECHA

Cielo Guadalupe del Porte Morales, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Conocer la calidad física y fisiológica de la semilla de café (*Coffea arabica* L.), es importante para la producción de semilla certificada. En México, no existe suficiente información sobre la calidad física y fisiológica para producción de semillas de café. La información disponible es sobre la calidad del grano en taza, por lo que, el objetivo del presente trabajo fue generar información sobre el comportamiento de los factores, época de cosecha, grado de madurez, proceso de beneficiado y condiciones de almacenamiento en la calidad física y fisiológica de semilla. El estudio se llevó a cabo mediante cuatro experimentos; en el primer experimento se evaluó la época de cosecha en las variedades Costa Rica 95 y Garnica, se determinó la calidad física y la viabilidad con tetrazolio de la semilla, el análisis de varianza mostró diferencias significativas en las variables evaluadas. La variedad que presentó mayor porcentaje de humedad y peso volumétrico fue la variedad Costa Rica 95 cosechada en enero, la variedad que presentó mayor peso de mil semillas fue Garnica cosechada en enero, mientras que Garnica cosechada en diciembre, presentó el menor peso. Se observó que la mejor época de cosecha fue la de enero, ya que coincidió con una mejor calidad física de semilla y de mejor viabilidad, al registrarse los mayores Peso volumétrico y Peso de 1000 semillas, así como la mejor viabilidad. El mejor comportamiento en todas las variables tanto físicas como de viabilidad de semilla evaluada con tetrazolio, fue para la variedad Garnica. El porcentaje de viabilidad es mayor en semillas cosechadas en enero para ambas variedades. Las dos variedades presentan diferencias en características físicas de semilla, determinadas mediante análisis digital de semillas. La variedad Garnica tiene semillas que son más largas, mientras que las de Costa Rica 95 tienden a ser más anchas y más redondas. En el segundo experimento se evaluaron dos grados de madurez de la variedad Colombia, se determinó la calidad fisiológica, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en la prueba de germinación estándar al igual que para la prueba de vigor mediante el envejecimiento acelerado. El tercer experimento consideró el estudio de dos ambientes diferentes de conservación para evaluar la longevidad de la semilla; hubo diferencias en la viabilidad de los embriones, siendo el ambiente de Zacamitla, municipio de Ixhuatlán del Café donde la viabilidad de la semilla sólo bajo 1 % al mes de almacenado. En el cuarto experimento se evaluaron dos procesos de beneficio de café, se determinó la calidad fisiológica y el color de los granos de café, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas para la prueba de germinación estándar, pero si para la prueba de vigor mediante el envejecimiento acelerado. Se hizo un análisis de colorimetría que presentó diferencias significativas; el color se obtuvo mediante la escala HunterLab.

Palabras claves: *Coffea arabica* L., variedades, ambiente, calidad física y fisiológica, viabilidad.

FACTORS AFFECTING THE PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF COFFEE SEED (*Coffea arabica* L.) DURING POST-HARVEST HANDLING

Cielo Guadalupe del Porte Morales, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Knowing the physical and physiological quality of coffee seed (*Coffea arabica* L.) is important for the production of certified seed. In Mexico, there is not much information on the physical and physiological quality for the production of coffee seeds; The information available is on the quality of the grain in the cup, therefore, the objective of this work was to generate information on the behavior of the factors, harvest season, degree of maturity, beneficiation process and storage conditions in physical quality and physiological seed. The study was carried out by means of four experiments; in the first experiment the harvest time was evaluated in the Costa Rica 95 and Garnica varieties, and the physical quality, the analysis of variance showed significant differences in the variables evaluated. The variety with the highest percentage of moisture and volumetric weight was Costa Rica 95 harvested in January, the variety with the highest thousand-seed weight was Garnica harvested in January, while Garnica harvested in December had the lowest weight. The two varieties showed differences in physical seed characteristics as determined by digital seed analysis. The Garnica variety has seeds that are longer, while those of Costa Rica 95 tend to be wider and rounder. In the second experiment, two maturity grades of the Colombia variety were evaluated; physiological seed quality was determined; the analysis of variance showed no significant differences in the standard germination test nor the vigor test by accelerated aging. The third experiment considered the study of two different conservation environments to evaluate seed longevity; there were differences in embryo viability, being the environment of Zacamitla, municipality of Ixhuatlán del Café where seed viability only decreased by 1 % after one month of storage. In the fourth experiment, two coffee processing methods were evaluated, the physiological quality and the color of the coffee grain were determined, the analysis of variance did not show significant differences for the standard germination test, but did for the vigor test by accelerated aging. An analysis of colorimetry showed significant differences; color was obtained using the HunterLab scale.

Keywords: *Coffea arabica* L., physical quality, physiological quality, viability.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que mediante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se tuvo el financiamiento para poder realizar mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional a nivel de postgrado.

Al Dr. Gabino García de Los Santos, por dedicar tiempo para la exitosa culminación de la investigación.

Al Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón, por compartir su conocimiento y apoyar esta investigación.

Al MC. Adrián Hernández Livera, por su paciencia al compartir su conocimiento, por la pertinencia de sus consejos y el interés mostrado durante la investigación.

Al Dr. Esteban Escamilla Prado por sus sugerencias en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi familia

Por el apoyo brindado, la enseñanza dada y los consejos que me han permitido llegar a este punto en mi vida.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo general	3
Objetivos particulares.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del cultivo de café	4
Producción de café en México	5
Producción de café a nivel mundial.....	5
Etapas fenológicas del café.....	6
Factores ambientales que afectan la producción de café	8
Producción de semillas	9
Características de calidad en semillas	9
Calidad genética	9
Calidad física.....	10
Calidad fisiológica	10
Viabilidad y germinación	10
Vigor.....	12
Parámetros de calidad en grano y semilla de café.....	12
Características de la semilla	12
CAPÍTULO I. EFECTO DE LA ÉPOCA DE COSECHA DE LAS VARIEDADES COSTA RICA 95 Y GARNICA EN LA CALIDAD FÍSICA Y VIABILIDAD CON TETRAZOLIO.....	15
1.1 RESUMEN	15
1.2 SUMMARY	16
1.3 INTRODUCCIÓN	17

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	19
1.4.1 Localización	19
1.4.2 Material vegetal	19
1.4.3 Tratamientos y diseño experimental	20
1.4.4 Análisis estadístico.....	20
1.4.5 Evaluación de la calidad física de la semilla	21
1.4.5.1 Peso volumétrico (PV).	21
1.4.5.2 Peso de 1000 semillas (PMS).....	21
1.4.5.3 Forma de la semilla.....	22
1.4.5.4 Análisis digital de imágenes de semillas.....	22
1.4.6 Ensayo de viabilidad con tetrazolio en embriones de café.....	22
1.4.6.1 Evaluación	24
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
1.5.1 Evaluación de la calidad física de la semilla	25
1.5.1.1 Análisis de varianza	25
1.5.1.2 Comparación de medias	26
1.5.1.3 Forma de la semilla.....	27
1.5.1.4 Descriptores digitales de semilla de café.....	28
1.5.1.5 Número de embriones viables	30
1.6 CONCLUSIONES.....	31
CAPÍTULO II. INFLUENCIA DEL GRADO DE MADUREZ SOBRE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.), EN LA VARIEDAD COLOMBIA EN IXHUATLÁN DEL CAFÉ, VERACRUZ.....	32
2.1 RESUMEN	32
2.2 SUMMARY	33
2.3 INTRODUCCIÓN	34
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.4.1 Localización	36
2.4.2 Material vegetal.....	36
2.4.3 Tratamientos y Diseño experimental.....	36
2.4.4 Evaluación de la calidad fisiológica.....	37

2.4.4.1 Prueba de germinación estándar	37
2.4.4.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado	38
2.4.5. Análisis estadístico.....	40
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
2.5.1 Prueba de germinación	42
2.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado.....	44
2.6 CONCLUSIONES.....	48
CAPÍTULO III. DETERIORO DE LA SEMILLA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) EN DOS DIFERENTES AMBIENTES DE CONSERVACIÓN	49
3.1 RESUMEN	49
3.2 SUMMARY	50
3.3 INTRODUCCIÓN	51
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.4.1 Material vegetal.....	53
3.4.2 Tratamiento y Diseño experimental.....	53
3.4.3 Ambientes de almacenamiento	54
3.4.4 Almacenamiento de las muestras de semilla	55
3.4.5 Prueba de viabilidad con tetrazolio	55
3.4.5.1 Porcentaje de viabilidad.....	56
3.4.6 Análisis estadístico.....	57
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.5.1 Análisis de varianza	60
3.5.2 Comparación de medias	63
3.6 CONCLUSIONES.....	65
CAPÍTULO IV. TRATAMIENTOS DE LAVADO Y ENMIELADO EN LA CALIDAD DE SEMILLA EN DOS VARIEDADES DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.).....	66
4.1 RESUMEN	66
4.2 SUMMARY	67
4.3 INTRODUCCIÓN	68
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS	70
4.4.1 Localización	70

4.4.2 Material vegetal.....	70
4.4.3 Tratamientos y Diseño experimental.....	70
4.4.4 Manejo de la semilla durante el beneficio	71
4.4.5 Pruebas de calidad fisiológica.....	72
4.4.5.1 Prueba de germinación estándar	72
4.4.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado	73
4.4.5.3 Análisis de colorimetría	75
4.4.6 Análisis estadístico.....	75
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	77
4.5.1 Prueba de germinación estándar	77
4.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado.....	78
4.5.2.1 Comparación de medias	81
4.5.3 Análisis de colorimetría	83
4.6 CONCLUSIONES.....	89
CONCLUSIÓN GENERAL.....	90
LITERATURA CITADA	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Significancia estadística de los cuadrados medios de las variables de calidad física y viabilidad con tetrazolio, en semillas de dos variedades de café cosechadas en dos épocas.....	26
Cuadro 2. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de las variables de calidad física y viabilidad con tetrazolio, en semillas de dos variedades de café cosechadas en dos épocas.	27
Cuadro 3. Caracterización física por la forma de semilla presente en las variedades Garnica y Costa Rica 95, por el tipo de semilla presente. Los valores entre paréntesis, son porcentajes.....	28
Cuadro 4. Cuadrados medios de los descriptores provenientes del análisis de digitalización de imágenes de semillas, para las dos variedades estudiadas.	28
Cuadro 5. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de las variables de calidad física de semillas, provenientes de la digitalización de semillas en dos variedades de café.	29
Cuadro 6. Significancia estadística de las variables estudiadas en la prueba de germinación y viabilidad, en la variedad Colombia.....	42
Cuadro 7. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en semillas de café de la variedad Colombia.	44
Cuadro 8. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de viabilidad con TZ, en semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.), de la variedad Costa Rica 95 almacenada en dos ambientes diferentes de temperatura y humedad relativa.	62
Cuadro 9. Comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para la variable porcentaje de viabilidad con TZ, en semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.), de la variedad Costa Rica 95, almacenada en dos ambientes con diferente temperatura y humedad relativa	64

Cuadro 10. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de germinación estándar, en semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.), de dos variedades y dos procesos de beneficio.....	77
Cuadro 11. Cuadrados medios para variables fisiológicas en dos variedades y dos procesos de beneficio de semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.), después del envejecimiento acelerado.....	80
Cuadro 12. Comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para variables fisiológicas en dos variedades y dos procesos de beneficio de semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.), después del envejecimiento acelerado.....	82
Cuadro 13. Cuadrados medios de las variables relacionadas con parámetros de colorimetría de semilla, de dos variedades de café (<i>Coffea arabica</i> L.) y dos procesos de beneficio.....	84
Cuadro 14. Promedios para parámetros de colorimetría en semillas de dos variedades de café (<i>Coffea arabica</i> L.), para dos procesos de beneficio.	85
Cuadro 15. Valores de correlación de Pearson y significancia de variables de colorimetría y	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Superficie sembrada de café (ha^{-1}) en 14 estados de la República Mexicana (SIAP, 2019).....	4
Figura 2. Rendimiento de café (ton/ha) en los estados productores de México (SIAP, 2019).	5
Figura 3. Principales países productores de café (USDA, 2019).....	6
Figura 4. Formación de los tipos de semillas en café (<i>Coffea arabica</i> L).	14
Figura 5. Extracción del embrión de la semilla de café (Dias y Silva, 1998).....	22
Figura 6. Extracción del embrión (metodología modificada). a) Primeras 24 horas de imbibición, b) Localización del embrión, c) Separación del endospermo, d) Lámina del endospermo que contiene al embrión, e) Láminas que contienen al embrión puestas en agua durante 24 horas, f) Embrión sin endospermo.....	23
Figura 7. Patrones de tinción en embriones de café. a) 2.5 R 4/10 rojo fuerte (embrión viable, b) 2.5 R 7/8 rojo menos fuerte (embrión viable), c) 2.5 R 7/4 rosa fuerte (embrión viable), d) 1.5 R 8/4 rosa menos fuerte (embrión viable), e) 2.5 R 8/2 blanco (embrión no viable) y f) Algunas partes esenciales del embrión sin teñir (no viables).....	30
Figura 8. Comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para variables de la prueba de germinación estándar, en semillas de café de la variedad Colombia con dos grados de madurez.	43
Figura 9. Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en dos grados de madurez de la variedad Colombia. T1 (Colombia en estado maduro con envejecimiento); T2 (Variedad Colombia en estado maduro sin envejecimiento); T3 (Variedad Colombia en estado pintón con envejecimiento); T4 (Variedad Colombia en estado pintón sin envejecimiento).....	46
Figura 10. Comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para variables evaluadas en la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en dos grados de madurez de la variedad Colombia. T1 (Colombia en estado maduro con envejecimiento); T2 (Variedad Colombia en estado maduro sin	

envejecimiento); T3 (Variedad Colombia en estado pintón con envejecimiento); T4 (Variedad Colombia en estado pintón sin envejecimiento).....	47
Figura 11. Extracción del embrión de la semilla de café (Dias y Silva, 1998).....	55
Figura 12. Extracción del embrión (metodología modificada). a) Primeras 24 horas de imbibición, b) Localización del embrión, c) Separación del endospermo, d) Lámina del endospermo que contiene al embrión, e) Láminas que contienen al embrión puestas en agua durante 24 horas, f) Embrión sin endospermo.....	56
Figura 13. Patrones de tinción en embriones de café. a) 2.5 R 4/10 rojo fuerte (embrión viable, b) 2.5 R 7/8 rojo menos fuerte (embrión viable), c) 2.5 R 7/4 rosa fuerte (embrión viable), d) 1.5 R 8/4 rosa menos fuerte (embrión viable), e) 2.5 R 8/2 blanco (embrión no viable) y f) Algunas partes esenciales del embrión sin teñir (no viables).....	57
Figura 14. Comportamiento de la temperatura en los dos ambientes de almacenamiento evaluados.....	59
Figura 15. Comportamiento de la humedad relativa en los dos ambientes de almacenamiento evaluado.....	60
Figura 16. Comportamiento de la viabilidad de la semilla de café de la variedad Costa Rica 95, después de 30 días de conservada en los ambientes de Zacamitla y en refrigerador. Tukey ($P \leq 0.05$).....	63
Figura 17. Medias de Tukey ($P \leq 0.05$) de las variables de la prueba de germinación estándar en dos procesos de beneficio de semilla de café (<i>Coffea arabica</i> L.). T1= COL; T2: = COE; T3 = CRL; T4 = CRE; PG= Porcentaje de germinación; PA= Plántulas anormales; NSG= Número de semillas sin germinar; % de Viabilidad= Porcentaje de viabilidad.....	78

INTRODUCCIÓN GENERAL

La cafeticultura en México es una actividad que destaca por su relevancia social y económica, además de la contribución ambiental, a través del cultivo en sistemas agroforestales.

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos agroindustriales en México. Los granos de café son muy apreciados para la exportación (Espinosa-Solares *et al.*, 2005), y después del petróleo, es el producto más importante de exportación (DaMatta *et al.*, 2007). En México, el café se cultiva en las regiones con clima adecuado para su crecimiento, y casi toda la producción es llevada a cabo por productores propietarios de pequeñas parcelas y escaso capital para invertir en su cultivo y manejo (Calo y Wise, 2005), a diferencia de otros productores en Guatemala y Costa Rica 95 con grandes extensiones de tierra que invierten sin escatimar para elevar la producción (Bertrand *et al.*, 2006).

En el estado de Veracruz las variedades Típica, Garnica, Bourbon, y Caturra se cultivan ampliamente (Läderach *et al.*, 2010; Hernández-Solabac *et al.*, 2011). Veracruz aporta 21.25 % de la producción total de café cereza en México y presenta un rendimiento promedio de 2.2 t ha⁻¹ de café cereza. El principal periodo de cosecha de frutos de café en México es de enero a marzo (ASERCA, 2010). En países como Costa Rica 95 (Samper, 1999), Colombia y Brasil (Varangis *et al.*, 2002) la producción promedio por hectárea es de 31.4, 18 y 17 sacos café oro ha⁻¹, respectivamente. Un saco de café oro equivale a 46 kg de granos de café manufacturados y previos al tostado (Espinosa-Solares *et al.*, 2005).

La buena calidad de la semilla utilizada en las siembras de café, es el primer paso para garantizar el desarrollo óptimo del cultivo, porque permite obtener plántulas vigorosas y de buenas características fenotípicas. Otros factores que afectan la calidad de la semilla son, la variedad, las condiciones de cultivo, la cosecha en el punto apropiado de madurez fisiológica, el procesamiento adecuado que no cause daños mecánicos a la semilla por fracturas o fricciones, las condiciones de secado, el contenido de humedad final y la edad de la semilla (Bewley, 1994).

Una semilla de café de buena calidad, se caracteriza por presentar tamaño uniforme, ausencia de defectos, como granos tipo caracoles, monstruos, vanos, brocados, alta viabilidad o un poder germinativo, generalmente mayor del 90 %, buen vigor de plántulas al germinar y un sistema radical bien formado (Sierra *et al.*, 1990).

Uno de los aspectos de mayor interés para los investigadores, ha sido que la semilla que se utiliza para el establecimiento en vivero tenga valores altos de vigor y viabilidad para poder contar con plántulas apropiadas en una plantación. Sin embargo, estas investigaciones se han centrado en temas de la viabilidad, donde los resultados han sido variados y hasta contradictorios (Bouharmont, 1971; González, 1973; Van der Vossen, 1979; Aguilera y Goldbach, 1980; Rodríguez y Leme, 1985). La mayoría de los autores coinciden en que la semilla de café es muy difícil de almacenar por periodos prolongados de tiempo, y que requiere de contenidos de humedad altos y temperaturas medias para conservar por mayor tiempo su poder germinativo. Un caso fuera de esta norma lo constituye el trabajo de Van der Vossen en 1979, quien afirma haber logrado conservar la semilla de café por un periodo de 24 meses, realizando un secado previo a la semilla (Humedad 10 y 11 % a 15 °C), aunque menciona que la “energía de germinación” es mayor en semillas con alto contenido de humedad (41 %).

A pesar de que el deterioro de las semillas durante su almacenamiento se encuentra influenciado por una gran variedad de factores que determinan la pérdida de viabilidad (Heydecker, 1972; Bewley y Black, 1982), se ha dado mayor importancia a los efectos de la temperatura de almacenamiento y a la humedad de la semilla (Arcila-Pulgarín, 1976; Van der Vossen, 1979; Aguilera y Goldbach, 1980; Ortuño, 1982; Rodríguez y Leme, 1985).

Planteamiento del problema

La producción de semillas certificadas de café, para la producción de plantas de alta calidad genética, representa un factor clave para impulsar la innovación tecnológica con la finalidad de contar con plántulas de buena calidad para una plantación; por lo que se requiere impulsar acciones que permitan apoyar el desarrollo del sector cafetalero para

la producción de semilla de café de buena calidad y su consecuente adecuada conservación.

Objetivo general

- El objetivo del presente trabajo fue generar información sobre el comportamiento de los factores, época de cosecha, grado de madurez, proceso de beneficiado y condiciones de almacenamiento en la calidad física y fisiológica de semilla de la semilla de café (*Coffea arabica* L.).

Objetivos particulares

1. Determinar la importancia de la época de cosecha, sobre la calidad física y viabilidad de la semilla mediante la prueba de tetrazolio.
2. Estudiar la influencia del grado de madurez sobre la calidad fisiológica.
3. Evaluar la longevidad de las semillas de café, bajo condiciones diferentes de temperatura y humedad en el almacén.
4. Determinar el efecto de los métodos de beneficio usados en café, lavados y enmielados, sobre la calidad de las semillas.

Hipótesis

1. La germinación y el vigor de la semilla de café se ven afectados por la época de cosecha.
2. El grado de madurez de la semilla de café influye en la calidad fisiológica.
3. Las condiciones de temperatura y humedad en el almacén, determinan una buena conservación de la semilla de café.
4. La calidad de la semilla de café es afectada por el método usado durante su beneficio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo de café

En México, la cafecultura es importante por el número de productores que se dedican a ella, como en 2017 año en que se registró la participación de 500 mil cafecultores en todo el país, y es aquí donde radica desde el punto de vista social, la importancia del café, además de que considerando las familias de estos grupos y las del personal ligado a la transformación y comercialización del grano, alrededor de 3 millones de mexicanos dependen del café en algún grado. Este cultivo se encuentra actualmente en 484 municipios del país; 74 de ellos generan 70 % de la producción nacional (SAGARPA, 2017).

El café se cultiva en 14 estados de la República Mexicana (Figura 1) con 710,360.63 hectáreas cultivadas, siendo el estado de Chiapas el principal productor con el 35.58 % del total de la superficie sembrada, seguido del estado de Veracruz con el 20.24 % y Oaxaca con el 19.17 % (SIAP, 2019).

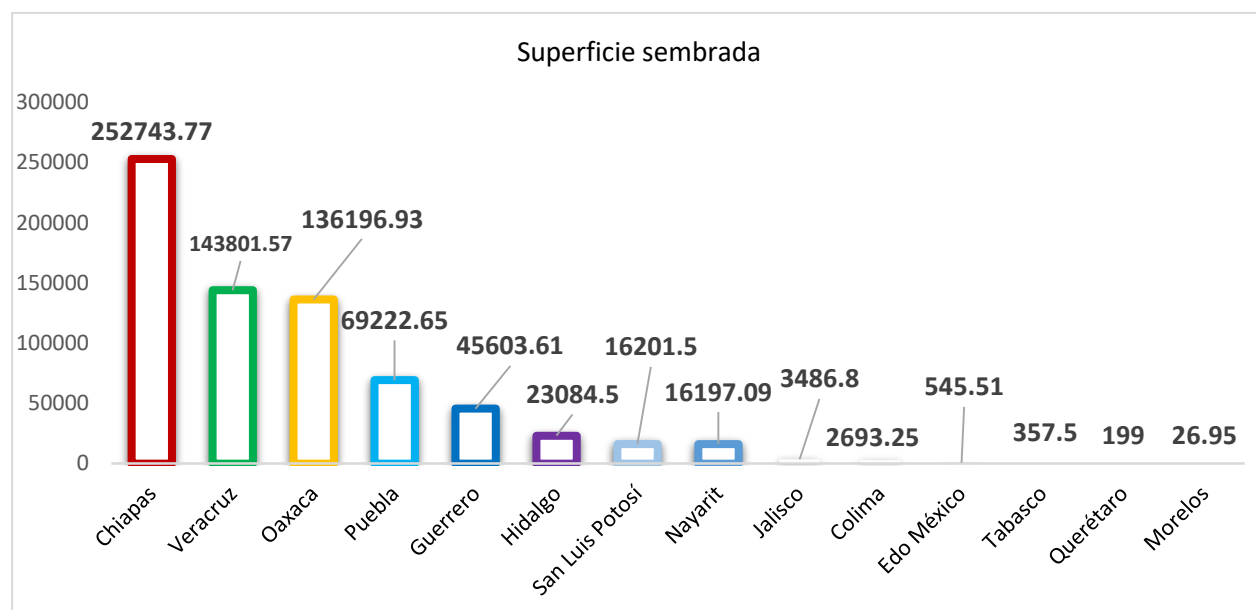


Figura 1. Superficie sembrada de café (ha⁻¹) en 14 estados de la República Mexicana (SIAP, 2019).

Producción de café en México

Los datos del SIAP (2019), indican la existencia de 710,360.63 hectáreas establecidas con café, de las cuales 629,300.47 se cosecharon con una producción de 900,215.43 toneladas, lo que significa un incremento anual de 5.8 %. Lo anterior, aun cuando el cultivo fue afectado por condiciones de sequía en algunas zonas productoras en Chiapas. La producción ha mostrado ligeras recuperaciones luego de que durante 2015-2016 llegó a su nivel mínimo desde que se tiene registro (1979-1980).

El rendimiento promedio de los 14 estados productores de café es de 1.156 ton/ha, el estado que obtiene un mayor rendimiento es Puebla, con 2.146 ton/ha, seguido de Veracruz y Chiapas; con 1.781 ton/ha y 1.591 ton/ha, respectivamente (Figura 2).

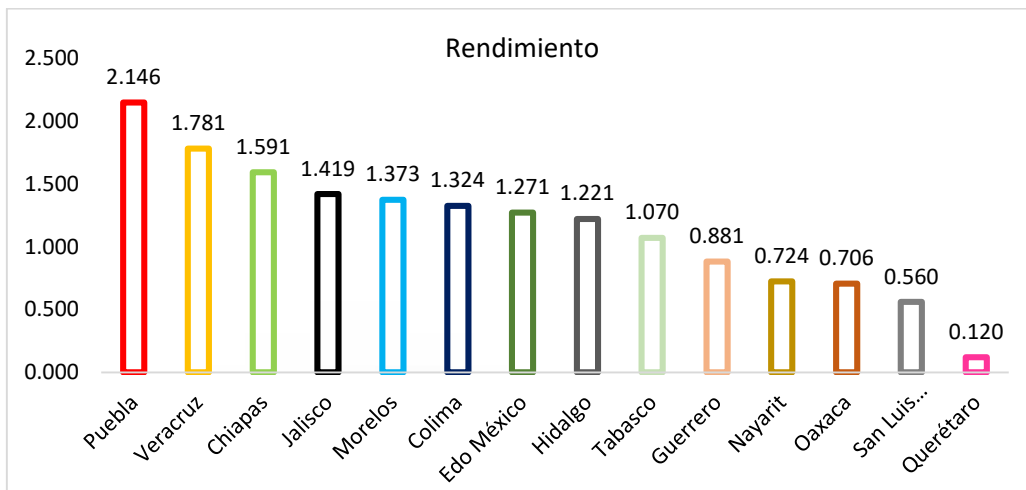


Figura 2. Rendimiento de café (ton/ha) en los estados productores de México (SIAP, 2019).

Producción de café a nivel mundial

Entre los ciclos 2008-2009 y 2018-2019, la producción mundial de café creció a una tasa promedio anual de 1.9 %, (Figura 3), para ubicarse en un máximo histórico de 174.6 millones de sacos de 60 kg de café en verde, así, la producción en el ciclo 2018-2019 creció a una tasa anual de 10.1 %. (USDA, 2019).

En el mercado mundial del café se distinguen dos variedades principales: arábica (*Coffea arabica* L.) y robusta (*Coffea canephora* P.). En 2018-2019, 59.5 % de la producción

mundial de café correspondió a la variedad arábica y 40.5 % a robusta; el volumen producido de estas variedades creció a tasas anuales de 10.5 y 9.6 %, respectivamente.

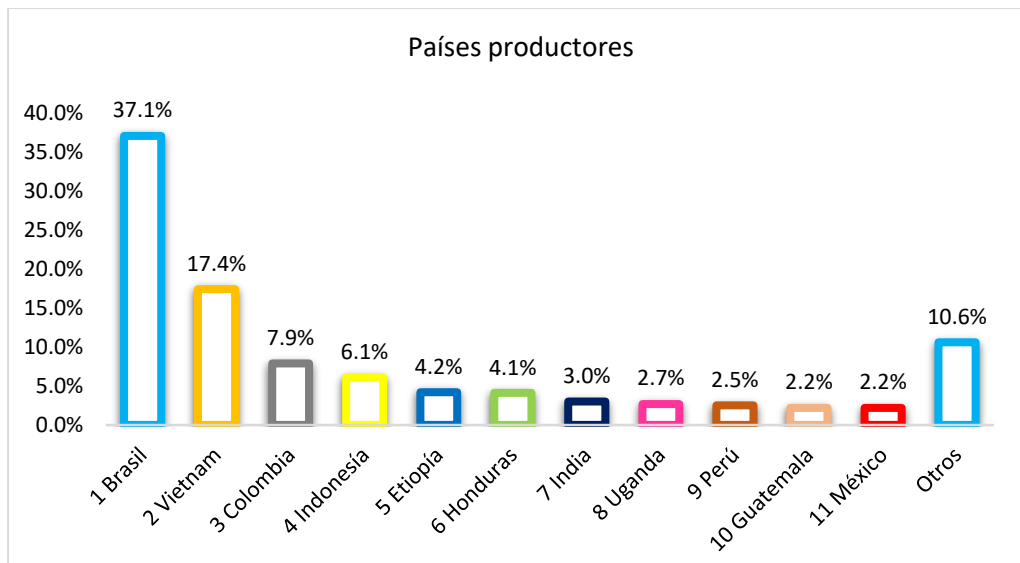


Figura 3. Principales países productores de café (USDA, 2019).

La producción de Brasil en 2018-2019 se ubicó en un nivel máximo histórico de 64.8 millones de sacos, lo que significó un incremento anual de 27.3 %. En el país sudamericano, 74.4 % de su producción correspondió a café arábica y 25.6 % a robusta. El 2018-2019 fue un ciclo de alta producción del café arábica, de acuerdo con el comportamiento bienal de este tipo de café. Además, las condiciones climáticas favorecieron los rendimientos del cultivo en las principales regiones productoras (USDA, 2019).

Etapas fenológicas del café

Gardner *et al.* (1985), definen el crecimiento como un proceso de incremento irreversible del tamaño de órganos de la planta, resultado de un proceso fisiológico complejo, dependiente de la fotosíntesis, respiración, división celular, elongación, diferenciación, entre otros y, además, influenciado por factores como temperatura, intensidad y calidad de luz, densidad de población, calidad de semilla, disponibilidad de agua y nutrientes.

La fenología estudia los eventos periódicos naturales involucrados en el ciclo de vida vegetal (Volpe, 1992; Villalpando y Ruiz, 1993; Schwartz, 1999). El ciclo biológico cambia

con el genotipo y factores del clima; lo que quiere decir, que las plantas del mismo genotipo bajo diferentes condiciones climáticas pueden presentar variación en los estados de desarrollo, después de transcurrido un mismo tiempo cronológico (Solórzano, 2007).

La floración comienza durante el segundo o tercer año de vida de la planta de café. Se considera como floración, el momento en que por los menos el 50 % de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y culmina con la maduración (Arcila *et al.*, 2007).

Una inflorescencia normal consiste de cuatro yemas florales en un entrenudo, cada yema produce un glomérulo o generalmente conocido como cima, racimo floral o antela. En la mayoría de los casos, el glomérulo consta de cuatro flores. Para arábica, el número de flores por inflorescencia puede variar de dos a nueve. Tomando como base que un glomérulo tenga cuatro flores y que en la base de cada hoja haya de cuatro a 12 glomérulos por nudo, estos finalmente generan de 16 a 48 flores (Wintgens, 2004).

La yema que produce el glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales (Arcila *et al.*, 2007).

El tiempo que se tarda desde la floración hasta la maduración de los frutos de café varía según la especie, las condiciones climáticas, las prácticas agrícolas y otros factores (Wintgens, 2004):

Coffea arabica toma de 6 a 9 meses

Coffea canephora toma de 9 a 11 meses

Coffea excelsa toma de 11 a 12 meses

Coffea liberica toma 12 a 14 meses

La maduración de los frutos de café es más lenta en las zonas altas ya que la temperatura del aire disminuye en 1 °C por cada 180 m de altitud (Wintgens, 2004).

Durante la maduración, existen cambios notables a través del tiempo en el color de la pulpa, debido al aumento de antocianinas; aumento de sólidos solubles, acidez titulable; disminución del pH; disminución en la rigidez estructura de la pulpa a compresión y disminución de la fuerza para desprender los frutos a tracción pura (Marín *et al.*, 2003). Estos cambios físicos permiten el beneficio adecuado de los frutos, lo que permite obtener una mejor calidad de café.

Factores ambientales que afectan la producción de café

El concepto de vulnerabilidad ha sido una poderosa herramienta analítica para describir estados de susceptibilidad a daños, la marginalidad de sistemas tanto físicos como sociales y para guiar el análisis normativo de acciones para mejorar el bienestar a través de la reducción del riesgo (Adger, 2006). La vulnerabilidad se centra en la investigación del cambio climático, así como lo relacionado con los desastres naturales y gestión de desastres, ecología, salud pública, pobreza y desarrollo social (Füssel, 2007). La vulnerabilidad regional revela los efectos diferenciales del clima sobre la sociedad, por ello, es imperativo el estudio de las causas y la distribución de los impactos del cambio climático en los sistemas agroproductivos, a partir de la compleja interacción de los factores ambientales, sociales, económicos y políticos involucrados en cada región o área geográfica (Torres *et al.*, 2011).

El cambio climático que se espera en el transcurso del siglo XXI, puede afectar la productividad de diferentes cultivos agrícolas, incluyendo el café. Camargo 2010, menciona que la variación anual de la producción de café está relacionada principalmente con la variación climática, debido a que los factores climáticos afectan el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo. Por ejemplo, el proceso de la fotosíntesis se limita cuando se produce un estrés hídrico, debido al cierre de estomas y a la reducción de procesos fisiológicos de la planta. Otro factor climático que puede reducir la productividad son las temperaturas extremas del aire, ya que si son menores a 4 °C, ocasionan el amarillamiento de las hojas y muerte de tejidos y brotes, mientras que temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan aborto de flores (Pérez y Geissert, 2006), lo que resulta finalmente en una pérdida de la cosecha. Villers *et al.* (2009) evaluaron el impacto del cambio climático sobre la floración y desarrollo del fruto de la

planta de café (*Coffea arabica* L.) en la región de Huatusco, Veracruz, México, encontrando que el cambio de temperatura del aire puede alterar el inicio de la floración y el cambio de las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto, afectando significativamente el rendimiento de café.

Los estudios sobre el impacto del cambio climático en la producción de café en Kenia para el año 2050, revelan que las zonas con altitudes de alrededor de 1200 m sufrirán un decremento en la producción de café, debido a la disminución de la precipitación del mes más seco y el incremento de la temperatura mínima del mes más frío (Hagggar y Schepp, 2012).

Producción de semillas

Características de calidad en semillas

La semilla es una unidad reproductiva compleja que se forma a partir del óvulo vegetal, después de la fertilización (Doria, 2010). La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo a considerar en la evaluación de la calidad que comprenden una serie de características que determinan su valor para la siembra; dentro de los más relevantes están pureza genética y calidad física, fisiológica, y sanitaria (McDonald, 1985; Marcos Filho 1994; Bishaw *et al.*,2007; Corbineau, 2012).

Calidad genética

La calidad genética de la semilla se refiere a las características que determina el fitomejorador, al liberar una variedad (Bustamante, 1983). La calidad genética de las semillas es la más importante, debido a que garantiza que las plantas obtenidas a partir de ella posean las características deseadas (Kelly, 1988).

Las características genéticas específicas inherentes a la constitución genética en la semilla proporcionan el potencial para altos rendimientos, mejor calidad de semillas y tolerancia a factores bióticos y abióticos (Bishaw *et al.*, 2007; Corbineau, 2012).

La calidad genética se puede perder en el corto o mediano plazo si no se sigue un esquema apropiado de mantenimiento, que permita conservar las características originales por las que tal variedad fue liberada (Carballo, 1993).

Calidad física

La calidad física de las semillas se refiere a características como humedad, pureza física, daño mecánico, apariencia, peso de mil semillas y peso volumétrico, entre otros (Tilman *et al.*, 2003).

El contenido de humedad es el factor que determina la velocidad a la cual las semillas se deterioran, teniendo un impacto considerable en su longevidad ya que pequeñas variaciones en el contenido de humedad, tienen un efecto importante en su vida de almacenamiento (Rao *et al.*, 2007).

Calidad fisiológica

La calidad fisiológica es la capacidad que expresan las semillas a través de funciones vitales, como germinación, vigor y longevidad (Popinigis, 1977). Además, comprende aquellos atributos intrínsecos que determinan su capacidad para germinar y producir poblaciones uniformes de plantas productivas bajo una amplia variación de condiciones ambientales (Andrade, 1992).

Viabilidad y germinación

La viabilidad expresa el grado al cual una semilla está viva, metabólicamente activa y con las enzimas capaces de catalizar reacciones metabólicas necesarias para la germinación y crecimiento de la plántula (Basra, 2006); en este sentido, una semilla viva puede contener tanto tejido vivo como tejido muerto, y puede o no ser capaz de germinar (Copeland y McDonald, 1995; Moreno, 1996; ISTA, 2009).

La semilla de café es capaz de germinar inmediatamente después de su recolección, por lo que debe sembrarse lo más pronto posible. A medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, se reduce su porcentaje de germinación. No se recomienda sembrar semillas con más de seis meses de almacenamiento (ICAFE, 1988).

La semilla madura, sana, y bien constituida puede germinar desde su cosecha si se coloca en un medio que presente condiciones satisfactorias: humedad, calor y aire (Urbaneja y Quijada, 2006); sin embargo, muchas semillas viables son incapaces de germinar inmediatamente después de que maduran, aunque se les coloque en condiciones favorables para la germinación. Esta característica es denominada latencia o germinación diferida, y una de sus causas es la impermeabilidad del tegumento (Sanabria *et al.*, 2004).

Aparentemente, la latencia es un mecanismo de supervivencia ante la presencia de determinadas condiciones climáticas particulares: temperaturas muy bajas, alternancias de épocas secas y húmedas y climas desérticos (Sanabria *et al.*, 2004). Solomon *et al.* (2001), expresan que se desconocen las causas exactas del fenómeno de latencia, por otro lado, cuando la latencia se debe a condiciones de la testa, el letargo termina en el momento en que esta se agrieta o debilita por acciones mecánicas o químicas o por efecto del ambiente o acción química (Madueño *et al.*, 2006); sin embargo, las semillas de café carecen de periodo de latencia, aunque la presencia del endocarpio atrasa la germinación. Semillas con endocarpio germinan entre los 50 y 75 días, pero cuando no está presente, la germinación se acelera en 20 días (Valio, 1980).

Las semillas maduras (secas) de café tienen una germinación lenta y asincrónica, lo que hace difícil obtener plántulas que sean ideales para el establecimiento de cultivos de café y su producción; en general, se ha realizado poco trabajo para entender la germinación de las semillas de café y su regulación. Tales estudios son esenciales para el mejoramiento de las prácticas agrícolas y el desarrollo adicional de la producción de café (Da Silva, 2002, Eira *et al.*, 2006).

Una vez que las semillas de café entran en contacto con el suelo, éstas absorben agua del sustrato y comienzan a crecer. La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A su vez la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula que sale del pergamino; esto se registra en cuatro a seis semanas, después emerge el hipocótilo en forma de "bastoncito" y su alargamiento

arrastra fuera de tierra a la semilla, siempre envuelta en un endocarpio, al mismo tiempo, las hojas cotiledonares. Estas no salen de la cubierta de pergamino, sino que permanecen en su interior alimentándose de las sustancias de reserva de la almendra de la semilla. Poco tiempo después, aproximadamente entre 10 y 15 días se evidencia la verticalidad del hipocótilo (denominado soldadito o fosforito) más tarde esta ligera cáscara se desprende y dos hojas cotiledonares se expanden (denominadas mariposa) en un periodo de 19 a 30 días para un tiempo estimado del proceso entre 50 y 75 días (Rincón, 1982; MEA, 1983).

Vigor

El vigor de las semillas, ha sido definido como la sumatoria de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, mientras que aquellas que presentan un pobre comportamiento son consideradas semillas de bajo vigor (ISTA, 1995). Los aspectos del comportamiento asociados con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación.

Parámetros de calidad en grano y semilla de café

Características de la semilla

La semilla de café es oblonga, plana convexa, de tamaño variable (10 a 18 mm de largo y 6.5 a 9.5 mm de ancho) y constituida en su mayor parte por un endospermo córneo en uno de cuyos extremos y muy superficialmente se encuentra un embrión de 3.5 a 4.5 mm de largo, de radícula cónica y cotiledones cordiformes. Este endospermo está recubierto por una capa muy fina de células esclerenquimatosas (película plateada) de cerca de 70 micrómetros de espesor y dispuestas en su mayoría en forma paralela a la superficie. La semilla está además encerrada y suelta dentro de una envoltura cartilaginosa de color

blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor, que corresponde al endocarpio o pergamino del fruto (Dedecca, 1957).

La composición química de la semilla de café muestra que es muy rica en carbohidratos (60 %), contenidos intermedios a bajos de lípidos (13 %) y proteínas (13 %), y contenidos de cafeína entre 1 y 2 %. Estas reservas están almacenadas en el endospermo y durante la germinación son hidrolizadas y movilizadas hasta el embrión para ayudar a su crecimiento (Poisson, 1979).

Una semilla con el endocarpio (pergamino) presente, germina entre los 50 y 70 días y la remoción de este acelera la germinación en 20 días, aproximadamente (Huxley, 1964; Valencia, 1970; Velasco y Gutiérrez, 1974; Valio, 1980;). La ubicación superficial del embrión en la semilla lo predispone a daños mecánicos o por condiciones ambientales adversas (ejemplo: frío y calor excesivo), y a su expulsión por efecto del agua cuando la semilla está deteriorada (Quintero, 1968). Otra característica de la semilla de café es la pérdida rápida de su viabilidad cuando se almacena con un contenido alto (35 a 40 %) o bajo (12 a 15 %) de humedad en una atmósfera no controlada, ya que después de cinco meses en estas condiciones, el poder germinativo es menor del 60 %.

La semilla de café debe poseer un tamaño y forma uniforme; los granos caracoles, triángulos y elefantes son considerados semillas defectuosas. Los granos normales tienen forma plana convexa; el color está relacionado con las zonas de cultivo, la fertilidad del suelo, estado sanitario de los frutos, proceso de beneficio y tiempo de almacenamiento (Villaflor, 1987).

La semilla tipo caracol, se origina cuando uno de los óvulos aborta tempranamente y, además, se produce atrofia en la cavidad locular (Alvarado *et al.*, 2002). La semilla del otro lóculo se desarrolla libremente, llenando todo el espacio y tomando forma de caracol. Se origina por fallas en la fecundación y posiblemente por factores genéticos e irregularidades meióticas (Castillo, 1988).

Semillas tipo elefante, López (2003), menciona que se deben a la formación de más de una semilla por lóculo, llamado polispermia o falsa poliembriónía, que generalmente equivalen a un tres por ciento. Las semillas son aparentemente normales cuando están

cubiertas por el pergamino, aún poco más grandes, pero al eliminarlo, se observa que se componen de más de una semilla verdadera, cubiertas por su propia película plateada; los endospermos de ambas semillas están doblados, juntos o envueltos uno alrededor de otro. Lo más común es encontrar dos semillas o tres por lóculo.

López (2003), menciona que la semilla tipo triángulo se debe a la formación de un mayor número de semillas por fruto denominado policarpiya, en las variedades de *Coffea arabica* L. es frecuente este tipo de frutos (tres semillas por fruto) y se debe principalmente a óvulos triloculares (Figura 4).

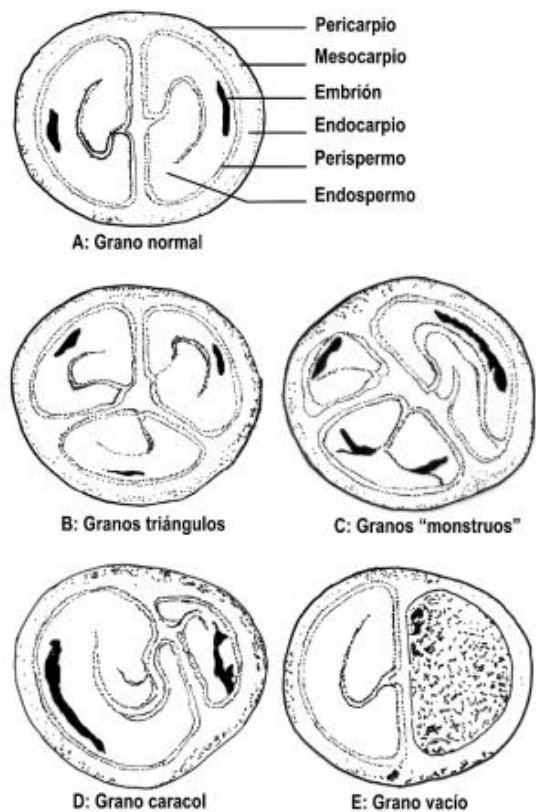


Figura 4. Formación de los tipos de semillas en café (*Coffea arabica* L).
Fuente: Castillo y Moreno (1988)

CAPÍTULO I. EFECTO DE LA ÉPOCA DE COSECHA DE LAS VARIEDADES COSTA RICA 95 Y GARNICA EN LA CALIDAD FÍSICA Y VIABILIDAD CON TETRAZOLIO

1.1 RESUMEN

En el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados ubicado en el Campus Montecillo, en dos variedades (*Coffea arabica* L.) y dos épocas de cosecha, diciembre y enero, se evaluó la calidad física y viabilidad con tetrazolio en semillas de café. La calidad física se determinó mediante el peso de mil semillas, peso volumétrico, contenido de humedad y con digitalización de imágenes de semillas; la viabilidad con tetrazolio se determinó contando el número de embriones viables. Hubo diferencias significativas para todas las variables estudiadas. Se observó que la mejor época de cosecha fue la de enero, ya que coincidió con una mejor calidad física de semilla y mejor viabilidad; también se obtuvo el mejor Peso volumétrico, y Peso de 1000 semillas y mejores valores en los parámetros estimados en las imágenes de semillas. El mejor comportamiento en todas las variables tanto físicas como de viabilidad de semilla evaluada con tetrazolio, fue para la variedad Garnica. El porcentaje de viabilidad es mayor en semillas cosechadas en enero para ambas variedades. Las dos variedades presentan diferencias en características físicas de semilla, determinadas mediante análisis digital. La variedad Garnica tiene semillas que son más largas, mientras que las de Costa Rica 95 tienden a ser más anchas y más redondas.

Palabras claves: *Coffea arabica* L, viabilidad, tetrazolio

1.2 SUMMARY

In the Seed Analysis Laboratory of the Postgraduate Program in Genetic Resources and Productivity - Seed Production Program of the Colegio de Postgraduados located at the Montecillo Campus, in two varieties (*Coffea arabica* L.) and two harvesting seasons, physical quality and viability were evaluated with tetrazolium in coffee seeds. Physical quality was determined by the weight of one thousand seeds, volumetric weight, moisture content and digitalization of seed images; viability with tetrazolium was determined by counting the number of viable embryos. There were significant differences for all the variables studied. It was observed that the best harvest time was January, since it coincided with better physical seed quality and better viability; the best volumetric weight and 1000-seed weight were also obtained, as well as better values in the parameters estimated using seed images. The best performance in all variables, both physical and seed viability evaluated with tetrazolium, was for the Garnica variety. The percentage of viability is higher in seeds harvested in January for both varieties. The two varieties show differences in physical seed characteristics, determined by digital seed analysis. The Garnica variety has seeds that are longer, while those of Costa Rica 95 tend to be wider and rounder.

Key words: *Coffea arabica* L, viability, tetrazolium.

1.3 INTRODUCCIÓN

El principal periodo de cosecha de frutos de café en México es de enero a marzo (ASERCA, 2010).

La mayoría de las variedades de *Coffea arabica* L. en el mundo son parecidas genéticamente, mientras que morfológicamente, presentan diferencias notables y sus frutos contrastan en calidad en pre y postcosecha (Steiger *et al.*, 2002).

Entre las variedades cultivadas en México se encuentran:

Costa Rica 95

Esta variedad es un Catimor, que resultó de la hibridación artificial realizada por el Centro Internacional de las Royas del Cafeto (CIFC) en el año de 1959, entre el cafeto Centro Internacional de las Royas del Cafeto (CIFC) 19/1 Caturra Rojo proveniente de semilla de Angola, obtenidas de plantas del Centro Internacional de las Royas del Cafeto (CIFC) 832/1 Híbrido de Timor (Zamarripa y Escamilla, 2002).

El peso del fruto maduro es de 1.76 a 1.79 g, el rendimiento agroindustrial es de 269 a 287 kg de café cereza y dan origen de 56.25 a 56.6 kg de café oro, mientras que la proporción de granos normales varía de 78.5 a 84.3 % (Escamilla, 2007).

Garnica

La variedad Garnica se formó por generaciones avanzadas del cruzamiento entre las selecciones mexicanas Mundo Novo 15 (fruto de color rojo) y Caturra Amarillo 13, estos progenitores se seleccionaron en base a registros de producción de 10.4 y 10.1 Kg de cereza por planta, respectivamente (Rivera, 1990).

El peso del fruto maduro varía de 1.68 a 1.75 g, los rendimientos agroindustriales de cereza a pergamino son: de 251 a 266 kg de café cereza y dan origen a 56.6 kg de café oro y la proporción del grano normal, fluctúa de 85.7 a 88.5 % (Escamilla, 2007)

En los mercados internacionales se reconocen algunos factores ambientales que influyen en la calidad del café como la altura de la plantación (Bertrand *et al.*, 2006) y la sombra

(DaMatta *et al.*, 2007), pero la variedad que se utilice del cafeto también juega un papel muy importante en cualquier sistema de producción, pues del genotipo y su adaptación al ambiente, depende la cantidad y la calidad de frutos a cosechar (Hein y Gatzweiler, 2005; Kathurima *et al.*, 2009).

Para el establecimiento de una buena plantación de café, se requiere contar con semilla de buena calidad que produzca plantas de óptima calidad. Una semilla de buena calidad es aquella que comprende aspectos genéticos, fitosanitarios, físicos y fisiológicos y, además, puede definirse con los atributos inherentes que determinan su potencial de germinación y sus características de crecimiento posterior y para ello se debe considerar cerezas bien maduras, cosechadas de plantas sanas, bien desarrolladas, libres de enfermedades. Por otro lado, dado que el café presenta varias floraciones, y por ello, también varios cortes en un período, las condiciones de la planta y ambientales que se presentan en el desarrollo de las semillas de los diferentes cortes pueden influir en la calidad de las mismas.

Ante la necesidad de producir semillas de buena calidad, para obtener plantas de óptima calidad se realizan estudios para establecer cuál es la época de cosecha adecuada para lograr semillas de excelente calidad.

Para una buena producción de material vegetativo se deben elegir las mejores semillas de cerezas bien maduras, cosechadas de plantas sanas, bien desarrolladas, de probada productividad, con edad entre 4 y 7 años, libres de patógenos y enfermedades. Como norma general, las mejores cerezas provienen de la parte media de las ramas localizadas en la parte central de la planta (Aranda Bezaury *et al.*, s/f).

El objetivo de esta investigación fue determinar la importancia de la época de cosecha, sobre la calidad física y la viabilidad de la semilla mediante la prueba de tetrazolio.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Localización

La cosecha se realizó en la Localidad de Zacamitla Municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz, la primera cosecha se realizó el 7 de diciembre 2019 y la segunda se realizó el 23 de enero de 2020 y la evaluación de la calidad física y viabilidad de la semilla en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, del Colegio de Postgraduados ubicado en el Campus Montecillo, Estado de México.

1.4.2 Material vegetal

Se utilizaron las variedades Costa Rica 95 y Garnica con el objetivo de determinar la importancia de la época de cosecha, sobre la calidad física y la viabilidad de la semilla mediante la prueba de tetrazolio.

Se cosecharon manualmente 5 kilos de café cereza de las variedades Costa Rica 95 y Garnica, se despulparon en una despulpadora manual número 4 de la marca Bonasa. Después del despulpado, la semilla se dejó fermentar en costales de polipropileno tejido (Costales donde se empaqueta el azúcar) durante 24 horas; transcurridas las 24 horas se chequeó que el mucílago se desprendiera fácilmente del grano, y que no hubiera viscosidad entre los granos de café (debe haber fricción entre los granos, los productores utilizan mucho el oído debido a que se escucha la fricción y al tocar los granos se sienten rasposos). Una vez que el mucílago se desprendió fácilmente se procedió a lavar, y durante este se quitaron todos los restos de cascara que se pudieron caer a la semilla limpia durante el despulpado y semilla vana que se encontraba sobre la superficie del agua; el lavado se realizó varias veces hasta que la semilla quedó totalmente limpia. Después de realizar el lavado, las semillas se dejaron secar a la sombra sobre papel Kraft por 10 días y posteriormente se comenzaron a realizar las pruebas de calidad física de la semilla.

1.4.3 Tratamientos y diseño experimental

El experimento se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar y un arreglo de tratamientos factorial con dos factores de estudio, que resultaron de la combinación de dos variedades y dos épocas de cosecha, dando un total de cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento:

Tratamiento 1: Variedad Costa Rica 95 cosechada en Diciembre (CR-D)

Tratamiento 2: Variedad Costa Rica 95 cosechada en Enero (CR-E)

Tratamiento 3: Variedad Garnica cosechada en Diciembre (GAR-D)

Tratamiento 4: Variedad Garnica cosechada en Enero (GAR-E)

1.4.4 Análisis estadístico

Antes de iniciar los análisis de las variables, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, así como la multicolinealidad. Los datos que no presentaron normalidad, en los residuales, fueron transformados con la función $\arcsen(\sqrt{X}/100)$. Las variables de calidad física y el porcentaje de viabilidad se sometieron a un Análisis de Varianza (ANAVA) y prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) y utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la i-esima unidad experimental

μ = Efecto de la media general

t_i = Efecto del i-esimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la i-esima unidad experimental

1.4.5 Evaluación de la calidad física de la semilla

1.4.5.1 Peso volumétrico (PV).

Se evaluó a partir de una muestra de 100 g de semilla pura de café, la cual fue vertida en una probeta de 250 ml para determinar el volumen ocupado. La información se tomó de cuatro repeticiones por variedad. El peso volumétrico se calculó con la siguiente expresión:

$$PV = \left(\frac{\text{Peso de semilla } 100 \text{ g}}{\text{Volumen ocupado por los } 100 \text{ g (ml)}} \right) \times 100$$

1.4.5.2 Peso de 1000 semillas (PMS)

De cada variedad se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas cada una, con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Como el coeficiente de variación obtenido fue menor de 4, los datos se consideraron correctos. El peso de mil semillas se obtuvo multiplicando por 10 la media aritmética de las ocho repeticiones, se expresó en gramos (ISTA, 2015), y fue calculado con la fórmula siguiente:

$$\text{Varianza} = \frac{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

En donde:

X = Peso en g de cada repetición

N = Número de repeticiones

\sum = Suma de: los valores de los pesos de cada repetición.

Desviación típica (S) = $\sqrt{\text{Varianza}}$

Coeficiente de variación = $\frac{S}{\bar{x}} \times 100$

En donde:

\bar{x} = Media aritmética de las ocho repeticiones de 100 semillas

1.4.5.3 Forma de la semilla

Se ha observado que las diferentes formas de la semilla que predominan en las variedades, como parte de la calidad física, es un carácter que a veces se correlaciona con el comportamiento de la germinación, viabilidad y vigor de semillas. Por tal razón, se realizó la caracterización física de la semilla para determinar el porcentaje de composición de las diferentes formas y tipos de semillas en las dos variedades evaluadas.

1.4.5.4 Análisis digital de imágenes de semillas

Se procesaron imágenes de semilla de café, de las dos variedades evaluadas. Dichas imágenes se capturaron en un escáner marca Epson y se procesaron en una computadora portátil HP, usando el programa ImageJ versión 1.51 J8. En cada variedad, se usaron cuatrocientas semillas repartidas en cuatro repeticiones de cien cada una. Las variables registradas fueron área, perímetro, largo, ancho y redondez (factor forma) (Linskens y Jackson, 1992).

1.4.6 Ensayo de viabilidad con tetrazolio en embriones de café

Para la extracción de embriones se tomó una muestra de 100 semillas de cada una de las variedades Costa Rica 95 y Garnica y se siguió la metodología de Dias y Silva (1998) con sus adecuaciones, se establecieron 4 repeticiones de 25 semillas (Figura 5).

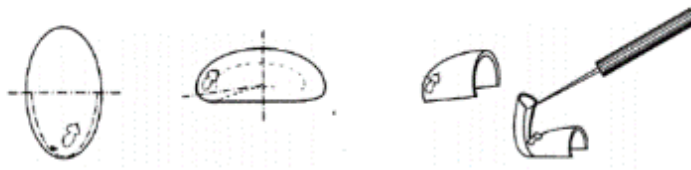


Figura 5. Extracción del embrión de la semilla de café (Dias y Silva, 1998).

Se realizó una modificación a la extracción de embriones de café propuesta por Dias y Silva (1998), por lo que a las 100 semillas se les retiró el pergamino, se colocaron en agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se les realizaron cortes longitudinales y transversales, para que las semillas se ablandaran.

Después de realizar los cortes, se cambió el agua en el que se encontraban las semillas, y de nuevo se volvieron a dejar en agua destilada durante 24 horas para permitir la correcta extracción del embrión. Después de este tiempo, se extrajeron los embriones y se colocaron en agua destilada como se observa en la (Figura 6).

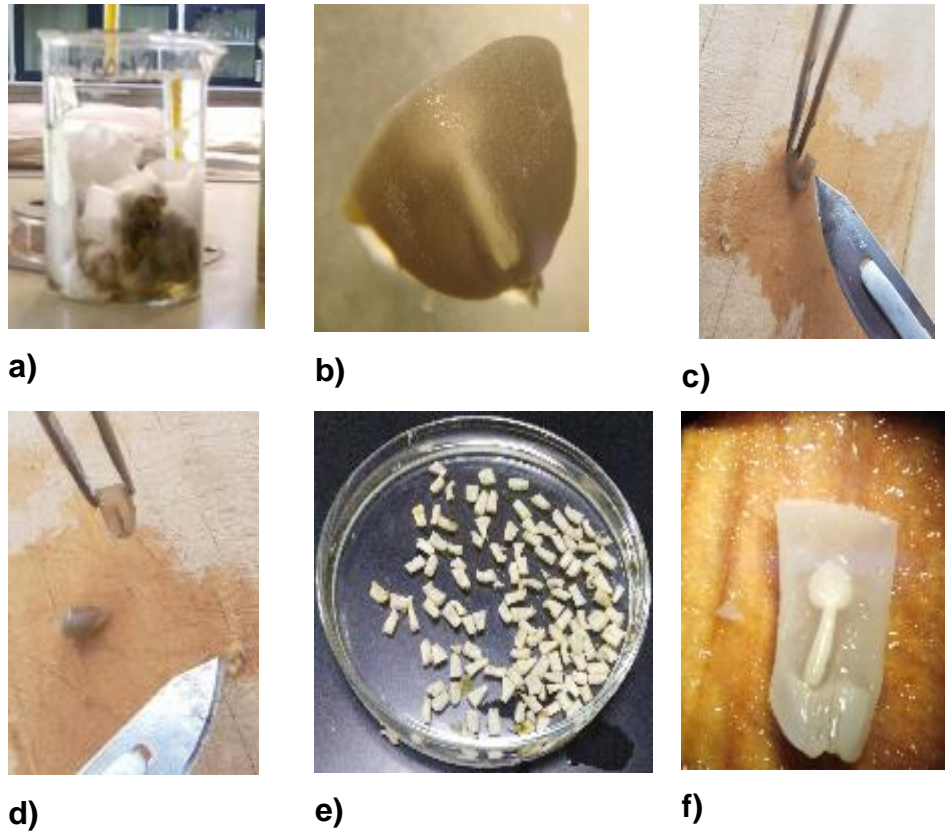


Figura 6. Extracción del embrión (metodología modificada). a) Primeras 24 horas de imbibición, b) Localización del embrión, c) Separación del endospermo, d) Lámina del endospermo que contiene al embrión, e) Láminas que contienen al embrión puestas en agua durante 24 horas, f) Embrión sin endospermo.

La solución de tetrazolio (2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio), se preparó a una concentración del 1.0 %, diluyendo un gramo de sal de tetrazolio en 100 ml de agua destilada con un pH de 7.0.

Cuando ya se tuvo preparada la solución de tetrazolio, se colocaron los embriones dentro de ella, y se pasaron a una cámara en ausencia de luz durante 24 horas.

MAPA (2009) indica que el resultado de viabilidad puede ser presentado en números enteros y en porcentaje. En base a lo anterior, se consideraron las 25 semillas de cada repetición, se contaron los embriones viables de las 4 repeticiones para hallar el valor promedio, luego se dividió por la cantidad de embriones de la unidad experimental y se multiplicó por 100 para hallar el porcentaje, como se muestra en la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Viabilidad} = \frac{\text{Valor promedio de los embriones viables}}{\text{Número de semillas utilizadas por repetición}} \times 100$$

La muestra evaluada fue aprobada cuando el porcentaje de viabilidad fue mayor al 80 % (INIAF, 2014).

1.4.6.1 Evaluación

Los embriones se mantuvieron en la solución de tetrazolio durante 24 horas para que se tiñeran correctamente, luego la muestra fue retirada de la cámara, y con ayuda de un atomizador se lavaron los embriones con agua destilada, después se regresaron a una caja petri de vidrio que contenía agua destilada.

Para evaluar correctamente la viabilidad de los embriones, estos fueron colocados en papel toalla previamente humedecida para evitar que se deshidrataran, luego, fueron separados y alineados con la ayuda de unas pinzas bajo un microscopio estereoscópico para determinar el patrón de coloración obtenido. El número de embriones viables se clasificó de acuerdo al grado de tinción, utilizando la Tabla de Colores de Tejidos Vegetales Munsell (1977), y se cuantificaron en su respectiva categoría, de la siguiente manera: 2.5 R 4/10 rojo fuerte (embrión viable), 2.5 R 7/8 rojo embrión viable, 2.5 R 7/4 rosa fuerte (embrión viable), 1.5 R 8/4 rosa menos fuerte (embrión viable), 2.5 R 8/2 blanco (embrión no viable).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Evaluación de la calidad física de la semilla

1.5.1.1 Análisis de varianza

El comportamiento de las variables de calidad de semillas, se muestran en el Cuadro 1. Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.001$) para las variables de calidad física de semilla, Peso volumétrico y Peso de 1000 semillas. En ambas variables las diferencias fueron altas tanto en efectos independientes como en la interacción (V x E). Asimismo, el efecto diferente en cuanto a Época de cosecha, indica que la calidad también está determinada por el momento en que se realice esta.

En otras especies como el maíz algunos investigadores concluyen que atributos como el Peso volumétrico y el Peso de mil semillas, son más influenciados por el componente genético que por el ambiente mismo (Flint-García *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2010).

En el Cuadro 1, también se indica el resultado que se obtuvo, en relación con la viabilidad evaluada con TZ, en las dos variedades según su época de cosecha. Hubo diferencias significativas para variedades ($P \leq 0.01$) y para Épocas de cosecha ($P \leq 0.001$), mientras que la interacción fue no significativa. El potencial que tienen las semillas para germinar, es evaluado frecuentemente con la prueba de tetrazolio, la cual ha demostrado tener una alta correlación con el comportamiento que las semillas presentan, cuando se evalúan directamente en una prueba de germinación estándar. En el caso de las variedades evaluadas en este trabajo, Garnica y Costa Rica 95, se comportaron de manera diferencial en cuanto a su viabilidad y se intuye que el factor genético está involucrado en dicho comportamiento. Esto puede estar relacionado con el hecho de haber resultado no significativa la interacción, lo que indica que la viabilidad evaluada con TZ en las variedades está siendo determinada quizá por factores genéticos, más que por la época de cosecha.

Tanto los coeficientes de variación como los coeficientes de determinación fueron aceptables, lo que refleja la bondad del ajuste del modelo respecto a la importancia de las variables consideradas en el mismo.

Cuadro 1. Significancia estadística de los cuadrados medios de las variables de calidad física y viabilidad con tetrazolio, en semillas de dos variedades de café cosechadas en dos épocas.

Variables	Fuentes de Variación			CV (%)	R ²
	Variedades (V)	Época de cosecha (E)	V x E		
Peso Volumétrico (Kg/hL)	16.81***	23.04***	27.04***	0.82	0.97
Peso de 1000 semillas (g)	27.73***	41.84***	44.16***	5.84	0.63
Viabilidad TZ (%)	64.00**	196***	ns	2.87	0.75

1.5.1.2 Comparación de medias

En el Cuadro 2, se presenta el comportamiento promedio (Tukey ,0.05), de las variables de calidad física y de la viabilidad evaluada con tetrazolio, de acuerdo con las épocas de cosecha estudiadas y a las variedades Garnica y Costa Rica 95. En cuanto al efecto de la Época de cosecha, se observa que, en todas las variables, el mejor comportamiento se tiene cuando las semillas de las variedades fueron cosechadas en enero y de las dos, la de mejor comportamiento fue la variedad Garnica.

La variedad que mostró la mayor cantidad de embriones teñidos fue Garnica (96.5 %), y que corresponde a la semilla cosechada en enero; lo que puede quizá estar relacionado a que la semilla de la variedad Garnica, es de menor tamaño que la variedad Costa Rica 95 y sufre menos daño al despulpe, dando por consiguiente mejor viabilidad. Esto está relacionado con los datos de caracterización física de semillas por su forma y tipos que predominan en las variedades de café y que se hizo en la semilla de ambas variedades estudiadas. Por ejemplo, la cantidad de semilla tipo planchuela, que es la semilla de mayor tamaño y más uniforme y que más predomina por kilogramo; resultó que este tipo de forma fue menor en la variedad garnica (679.9) comparado con la cantidad presente en la variedad Costa Rica 95 (908.8) (Cuadro 3).

Cuando se compararon caracteres físicos de semilla, por ejemplo, los obtenidos mediante digitalización de imágenes de semillas como área, perímetro, largo y ancho, se observaron diferencias entre las dos variedades estudiadas y en todos los casos, la mejor

calidad de semilla correspondió a la variedad Garnica; lo que coincide con los resultados obtenidos.

Si se relacionan los datos de viabilidad con la época de cosecha, se puede inferir que no es coincidencia que los productores nunca utilicen la primera o última cosecha de café para semilla, siempre toman semilla de las cosechas intermedias, y también tienen mucho cuidado que al cortar los frutos estos se encuentren en la parte media de la planta al igual que de la parte media de la rama (Comunicación personal del productor, Gerardo Moreno Mata).

Cuadro 2. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de las variables de calidad física y viabilidad con tetrazolio, en semillas de dos variedades de café cosechadas en dos épocas.

Fuente de Variación	Variables		
	Peso de 1000 semillas (g)	Peso volumétrico (Kg/hL)	Viabilidad con TZ (%)
Época de Cosecha			
Enero	27.46 a	51.83 a	98.00 a
Diciembre	25.17 b	49.43 b	91.00 b
Variedad			
Garnica	27.24 a	51.65 a	96.50 a
Costa Rica 95	25.38 b	49.60 b	92.50 b
DMS	1.12	0.45	2.95

1.5.1.3 Forma de la semilla

Los resultados de las determinaciones de los diferentes tipos de semilla por su forma, se presentan en el Cuadro 3. La semilla tipo planchuela es la que más se busca para establecer viveros ya que es una semilla considerada como grano normal y por lo tanto de mejor calidad, al menos calidad física, estas tienen forma plana convexa y dan origen a plántulas normales y vigorosas.

Cuadro 3. Caracterización física por la forma de semilla presente en las variedades Garnica y Costa Rica 95, por el tipo de semilla presente. Los valores entre paréntesis, son porcentajes

Variedad	Forma de la semilla				Total
	Planchuela	Caracolillo	Triangulo	Elefante	
Garnica	679.90 g (77.5)	181.37 g (20.7)	11.60 g (1.3)	3.95 g (0.45)	876.82 g
Costa Rica 95	908.80 g (91.4)	35.20 g (3.5)	30.00 g (3.0)	20.70 g (2.08)	994.70 g

Como puede verse (Cuadro 3), la variedad Costa Rica 95, tiene un porcentaje más alto de semilla de tipo planchuela por otro lado hay que destacar la proporción elevada de caracolillo en Garnica, ya que este grano es muy apreciado por los tostadores por ser un tipo de grano de café muy especial y apreciado en el mundo de la comercialización del mismo por sus características, dando lugar a un café arábica de mucho cuerpo y más intenso que los arábicas "normales".

1.5.1.4 Descriptores digitales de semilla de café

En el Cuadro 4, se muestran los resultados del análisis de varianza de los descriptores físicos que fueron obtenidos al digitalizar las imágenes de semillas, de las variedades Garnica y Costa Rica 95. Todas las variables resultaron altamente significativas ($P \leq 0.0001$), mientras que el Área lo fue con valor de probabilidad más bajo (0.03).

Cuadro 4. Cuadrados medios de los descriptores provenientes del análisis de digitalización de imágenes de semillas, para las dos variedades de café estudiadas.

Variables	Fuente de Variación		
	Variedades (V)	CV	R ²
Área (mm ²)	290.16*	10.56	0.03
Perímetro (mm)	35.21***	5.58	0.04
Largo (mm)	26.99***	6.85	0.08
Ancho (mm)	7.15***	5.63	0.06
Redondez (factor forma) (mm)	0.26***	6.67	0.16

En cuanto a los promedios de cada variable (Cuadro 5), se observa que la variedad Garnica tiene semillas con valores de Área y de Perímetro mayores y es más larga también, mientras que la variedad Costa Rica 95 tiende a ser más ancha y más redonda.

Existe una gran variación tanto interespecífica como intraespecífica en las características físicas de semillas de las diferentes especies. La morfología de semillas ha sido muy útil en el análisis de relaciones taxonómicas en una amplia variedad de familias y géneros. Por lo tanto, la forma y el tamaño de semilla son parámetros útiles en el análisis de la biodiversidad de las plantas (Leishman *et al.*, 2000).

Las características biométricas de semillas pueden ser analizadas mediante sistemas de imágenes de semillas y los datos pueden ser rápidamente procesados y almacenados en discos duros, graficados y estadísticamente analizados. En este caso, la digitalización de imágenes de semillas puede ser muy útil, rápida y confiable en la discriminación de variedades (Dell'Aquila, 2006) y sobre todo es un método útil en aquellas semillas muy pequeñas y difíciles de evaluar de manera directa con métodos tradicionales de medición (Daniel, *et al.*, 2012). Tal es el caso de las dos variedades de café estudiadas en este trabajo, que fue posible diferenciar y que nos permitió conocer características más específicas. Esto es útil ya que se puede hacer un mejor aprovechamiento de este tipo de técnicas, cuando las características obtenidas mediante digitalización, se correlacionan con caracteres fisiológicos.

Cuadro 5. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de las variables de calidad física de semillas, provenientes de la digitalización de semillas en dos variedades de café.

Fuente de Variación	Variables				
	Área (mm ²)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Redondez (mm)
Garnica	87.76 a	35.77 a	12.63 a	8.84 b	0.70 b
Costa Rica 95	86.05 b	35.22 b	12.14 b	8.93 a	0.73 a
DMS	1.52	0.32	0.14	0.08	0.008

1.5.1.5 Número de embriones viables

Se obtuvo un patrón de coloración y se usó el criterio de Munsell (1977), para la clasificación del grado de tinción de los embriones extraídos de las semillas y su respectivo nivel de viabilidad, como se muestra en la (Figura 7).

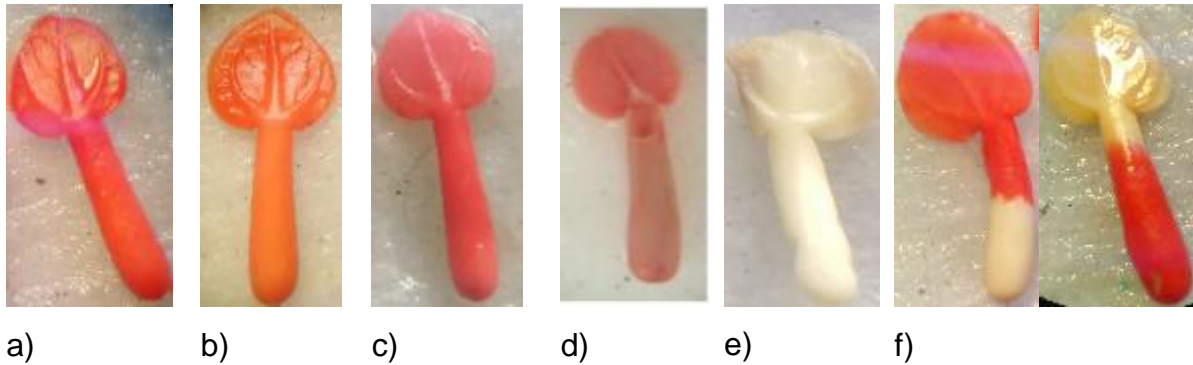


Figura 7. Patrones de tinción en embriones de café. **a)** 2.5 R 4/10 rojo fuerte (embrión viable), **b)** 2.5 R 7/8 rojo menos fuerte (embrión viable), **c)** 2.5 R 7/4 rosa fuerte (embrión viable), **d)** 1.5 R 8/4 rosa menos fuerte (embrión viable), **e)** 2.5 R 8/2 blanco (embrión no viable) y **f)** Algunas partes esenciales del embrión sin teñir (no viables).

1.6 CONCLUSIONES

Se observó que la mejor época de cosecha fue la de enero, ya que coincidió con una mejor calidad física de semilla y de mejor viabilidad, al registrarse el mayor Peso volumétrico y Peso de 1000 semillas, así como la mejor viabilidad.

El mejor comportamiento en todas las variables tanto físicas como de viabilidad de semilla evaluada con tetrazolio, fue para la variedad Garnica.

El porcentaje de viabilidad fue mayor en semillas cosechadas en enero para ambas variedades.

Las variedades Garnica y Costa Rica 95 presentaron diferencias en características físicas de semilla, determinadas mediante análisis digital de semillas.

CAPÍTULO II. INFLUENCIA DEL GRADO DE MADUREZ SOBRE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN LA VARIEDAD COLOMBIA EN IXHUATLÁN DEL CAFÉ, VERACRUZ

2.1 RESUMEN

En el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados ubicado en el Campus Montecillo, se evaluaron dos grados de madurez en semilla de café en la variedad Colombia, para determinar su efecto sobre la calidad fisiológica. La calidad fisiológica se determinó con la prueba de germinación estándar y la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en las variables relacionadas con la prueba de germinación estándar, al igual que para la prueba de vigor mediante el envejecimiento acelerado, sin embargo, numéricamente sí hubo efecto del grado de madurez, resultando mejor la germinación en la semilla cosechada en estado “Pintón”, mientras que el % de viabilidad, fue mayor en la semilla cosechada en estado Maduro. Las variables Germinación y Viabilidad resultaron ligeramente significativas para el estado de madurez, mientras que, para variables relacionadas con el tratamiento de envejecimiento, solo la Longitud de plúmula lo fue claramente, indicando que los grados de madurez tienen mayor efecto en la calidad de semilla de café, desde el punto de vista del vigor de semillas. El efecto ocasionado por el envejecimiento acelerado, mostró diferencias significativas, y más claridad del efecto del grado de madurez, ya que la semilla del grado “Pintón”, fue más vigorosa al resistir más el deterioro ocasionado, que la semilla de grado “Maduro”.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., germinación estándar, vigor envejecimiento acelerado.

2.2 SUMMARY

At the Seed Analysis Laboratory of the Postgraduate Program in Genetic Resources and Productivity - Seed Production Program of the Colegio de Postgraduados located at the Montecillo Campus, two degrees of maturity were evaluated in coffee seeds of the Colombia variety to determine their effect on physiological quality. The physiological quality was determined with the standard germination test and the vigor test by accelerated aging. The analysis of variance showed no significant differences in the variables related to the standard germination test as well as for the vigor test by accelerated aging, however, numerically there was an effect of the degree of maturity, resulting in better germination in the seed harvested in the "Pintón" state, while the % of viability was higher in the seed harvested in the mature state. The germination and viability variables were slightly significant for the maturity stage, while for variables related to the aging treatment, only plumule length was clearly significant, indicating that the degrees of maturity have a greater effect on coffee seed quality from the point of view of seed vigor. The effect caused by accelerated aging showed significant differences and a clearer effect of the maturity grade, since the "Pintón" grade seed was more vigorous and resisted the deterioration more than the "Maduro" grade seed.

Key words: *Coffea arabica* L., standard germination, vigor, accelerated aging.

2.3 INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas de las zonas cafetaleras ocasionan alta desuniformidad de maduración en el café, observándose en una misma rama frutos en diferentes estados de desarrollo y con varios grados de madurez. Por esta razón, es necesario realizar varias cosechas por año (Arcila, 2000).

La cosecha de los frutos de café, se hace habitualmente con el criterio empírico tomando en cuenta el color de la cereza, la cual al madurar presenta una mezcla de tonalidades verdes, amarillas y rojas, según el cultivar o variedad; como resultado, se cosecha una mezcla que incluye frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos (Roa *et al.*, 1999). Cada uno de estos tipos de frutos presenta características físicas y químicas específicas, que determinan la cantidad y calidad del producto obtenido durante los procesos de beneficio, trilla, almacenamiento y preparación de la bebida. Cuando se procesan frutos con un grado adecuado de maduración, estos defectos son mínimos, debido a la presencia de mucílago que ayuda a disminuir el daño mecánico durante el despulpado.

Con relación a la calidad en taza, algunos estudios han determinado que la mejor bebida se obtiene de frutos maduros, mientras que los frutos verdes afectan la calidad debido a múltiples defectos como sabor y aroma, fermento y acre en la bebida (Vincen, 1968; Puerta, 2000).

En la calidad de taza, si se usan frutos sobremaduros, se presentan defectos como sabores a fermento, además otros sabores y aromas extraños y contaminados, así como también a la presencia de frutos perforados por insectos y contaminados (Roa, 1999); mientras que en los frutos secos la bebida es calificada como dura, debido a que son materiales senescentes, con procesos fermentativos, además de mostrar una alta presencia de frutos perforados por insectos (Zuluaga, 1990).

El momento apropiado de cosecha ha sido estudiado ampliamente en muchas especies de plantas cultivadas. En los cereales se considera que la semilla alcanza un máximo de germinación y vigor al momento de la madurez fisiológica (Kozlowsky, 1972; Bewley y Black, 1982; Roberts, 1982). Sin embargo, en el caso de algunos frutos como el café,

Astolfi *et al.* (1981) determinaron que la semilla de café alcanza la madurez fisiológica antes de que el fruto madure plenamente.

La variedad Colombia es un cultivar compuesto o una mezcla de las mejores progenies en experimentación, cuyos progenitores son el híbrido de Timor como portador de la resistencia genética a la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix*) y la variedad Caturra, portadora de los genes que confieren el porte bajo.

Por sus características multilineales, la descripción exacta de la variedad no está disponible, debido a las numerosas progenies que la constituyen y a su proceso de mejoramiento en el cual cada vez que se seleccionan nuevos y mejores materiales, se incluyen en la variedad para enriquecerla y/o se retira alguna progenie del compuesto.

Esta variedad se caracteriza por tener un peso del fruto maduro que varía de 1.84 a 1.93 g, en cuanto a sus rendimientos agroindustriales, se necesitan 268 a 273 kg de café cereza para obtener 55.39 kg de pergamino, y la proporción del grano normal, fluctúa de 81.4 a 85.7 % (Escamilla, 2007).

Lo descrito anteriormente denota la importancia de los cuidados que deben tenerse en el proceso de recolección, para cosechar principalmente frutos con grado de madurez apropiado, ya que de ellos dependerá la cantidad y la calidad de la semilla. El objetivo del presente estudio fue estudiar la influencia del grado de madurez sobre la viabilidad y calidad fisiológica de semilla de café de la variedad Colombia 95.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas, ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

2.4.2 Material vegetal

La cosecha del material experimental se realizó en la Localidad de Zacamitla, Municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz.

Se cosecharon manualmente 5 kilos de café cereza de la variedad Colombia en dos diferentes grados de madurez: madurez óptima y “Pintón” a fin de evaluar su efecto en la obtención de semilla de mejor calidad. Los frutos de café se procesaron en una despulpadora manual número 4 de la marca Bonasa. Después del despulpado, la semilla se dejó fermentar en costales de polipropileno tejido (Costales donde se empaqueta el azúcar) durante 24 horas, transcurridas las 24 horas se verificó que el mucílago se desprendiera fácilmente del grano, y que no hubiera viscosidad entre los granos de café (debe haber fricción entre los granos, los productores utilizan mucho el oído debido a que se escucha la fricción y al tocar los granos se sienten rasposos). Una vez que el mucílago se desprendía fácilmente se procedió a lavar y durante el mismo, se quitaron todos los restos de cascara que se pudieron caer a la semilla limpia durante el despulpado y semilla vana que se encontraba sobre la superficie del agua, el lavado se realizó varias veces hasta que la semilla quedó totalmente limpia. Después de realizar el lavado se dejó secar a la sombra sobre papel Kraft y a los 10 días, se comenzaron a realizar las pruebas de calidad fisiológica.

2.4.3 Tratamientos y Diseño experimental

Para la prueba de germinación estándar se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DECA) con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

Tratamiento 1: Variedad Colombia Maduro (VCM)

Tratamiento 2: Variedad Colombia Pintón (VCP)

La prueba de envejecimiento acelerado se realizó mediante un Diseño Completamente al Azar (DECA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, resultando:

Tratamiento 1: Variedad Colombia en estado maduro con envejecimiento (CMCE)

Tratamiento 2: Variedad Colombia en estado maduro sin envejecimiento (CMSE)

Tratamiento 3: Variedad Colombia en estado pintón con envejecimiento (CPCE)

Tratamiento 4: Variedad Colombia en estado pintón sin envejecimiento (CPSE)

2.4.4 Evaluación de la calidad fisiológica

2.4.4.1 Prueba de germinación estándar

Para el ensayo de germinación se tomó una muestra de 200 semillas, para establecer cuatro repeticiones de 50 semillas cada una.

La semilla se sembró, usando el método “Entre Arena” de acuerdo con las especificaciones de la ISTA (2015); algunas modificaciones incluyeron la desinfestación de las semillas, que consistió en remojarlas en una solución de hipoclorito de sodio con una concentración del 5 % por un periodo de 10 minutos, después, se le eliminó el pergamino de forma manual. La siembra se efectuó en charolas de plástico de 26.7 cm de longitud por 17 cm de ancho, usando arena de río esterilizada como sustrato, las semillas se colocaron a 1 cm de profundidad, 2.6 cm entre semillas y a una distancia de 3.4 cm entre surcos. Se aplicó un riego al momento de la siembra y después diariamente para mantener el sustrato húmedo.

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación (PG).

Como representativas del Porcentaje de germinación, se consideraron a las plántulas normales, que presentaron raíz, hipocótilo, epicótilo y hojas bien desarrolladas, sanas y

sin malformaciones. El conteo se realizó a los 186 días después de haber establecido la prueba. Esta variable se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de plantas normales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PPA).

Dentro de esta variable, se consideraron a las plántulas que presentaban malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales. La determinación se realizó mediante la fórmula:

$$PPA = \left(\frac{\text{Número de plantas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de semillas no germinadas (PSNG).

Se constituyó con las semillas que no presentaron estructuras esenciales; el valor de esta variable se obtuvo de la siguiente manera:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de semillas no germinadas}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV).

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales) al finalizar la prueba.

$$PV = \left(\frac{\text{plántulas normales} + \text{plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

2.4.4.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

Se utilizó la metodología propuesta por Delouche y Baskin (1973), la cual consistió en mantener las semillas a una temperatura de 41 ± 2 °C con una humedad relativa constante de 100 %, durante 72 horas en una cámara de ambiente controlado. Se utilizaron cajas tipo sandwicheras de 10 x 10 x 3.5 cm a las que se les agregaron 100 ml de agua destilada, luego, las semillas fueron depositadas sobre una tela metálica

suspendida dentro de la caja para evitar el contacto directo de las semillas con el agua. En cada caja se depositaron 50 semillas por tratamiento formando una sola capa. Una vez transcurridas las 72 horas, las semillas se sembraron en cajas de plástico las cuales contenían arena de río como sustrato.

Variables evaluadas

Índice de Velocidad de emergencia (IVE)

Después de la siembra se realizaron conteos diarios a partir del día 28 después de la siembra que fue cuando las plantas comenzaron a emerger. Los conteos se realizaron hasta que se tuvo un número constante de plántulas. Se tomó como parámetro la aparición del estado de “cerillo” sobre la superficie de la arena. Esta variable se calculó mediante la siguiente expresión, según Maguire (1962):

$$VE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Xi}{Ni} \right)$$

En donde:

VE = Velocidad de emergencia

Xi = Número de plántulas emergidas por día

Ni = Número de días después de la siembra

Porcentaje de germinación (PG)

Las plántulas con germinación normal se consideraron como parte de esta variable, y fueron aquellas que presentaron raíz, hipocótilo, epicótilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Se realizó un solo conteo a los 186 días de establecida la prueba. El dato se calculó con la siguiente ecuación:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de plántulas normales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PPA)

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales y/o aquellas que no lograron emerger a la superficie de la arena. El dato se calculó de la siguiente manera:

$$PPA = \left(\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV)

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales, más plántulas anormales) al finalizar la prueba. El dato se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$PV = \left(\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Longitud de plúmula (LP)

Del total de las plántulas normales de cada repetición se tomó una muestra de 10 plántulas al azar para medir la longitud de cada una, desde el cuello de la plántula hasta los cotiledones, tomando el promedio de las 10 plántulas, el resultado se expresó en cm.

Peso seco de la plúmula (PSP)

De cada unidad experimental se tomaron 10 plántulas normales, se lavaron, para eliminar los residuos de arena y se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, la parte aérea se colocó en una bolsa de papel perforado y se sometieron a secado en la estufa a 70 °C durante 72 h (ISTA, 2005); transcurrido ese tiempo se pesaron las muestras en una báscula electrónica y se registró el peso seco en gramos por plántula.

2.4.5. Análisis estadístico

Antes de iniciar los análisis de las variables, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, así como la multicolinealidad. Los datos que no

presentaron normalidad, en los residuales, fueron transformados con la función arcoseno $\sqrt{X}/100$. Las variables de calidad fisiológica y de envejecimiento acelerado se sometieron a un Análisis de Varianza (ANAVA) y prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) mediante el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la i-esima unidad experimental

μ = Efecto de la media general

t_i = Efecto del i-esimo tratamiento

ε_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la i-esima unidad experimental

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Prueba de germinación

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ($P \geq 0,05$) para ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con los de Herrera *et al.* (1993), quienes tampoco detectaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación de la variedad Caturra, al evaluar los grados de madurez “Pintón” y Maduro.

Cuadro 6. Significancia estadística de las variables estudiadas en la prueba de germinación y viabilidad, en semilla de café de la variedad Colombia.

Variables	Fuentes de variación	CV (%)	R ²
	Grado de madurez		
Germinación (%)	220.50 ns	30.79	0.07
Plántulas anormales (%)	0.500 ns	282.84	0.14
Semillas no germinadas (%)	200.00 ns	82.60	0.06
Viabilidad (%)	200.00 ns	30.55	0.06

No obstante, en la Figura 8, se puede observar que numéricamente el porcentaje de germinación, fue mayor en la semilla cosechada en estado “Pintón”, también para la variable porcentaje de viabilidad (no. de semillas que presentaron germinación visible, plántulas normales más plántulas anormales) es mayor en la semilla cosechada en estado Pintón.

Se observó que conforme aumenta el grado de madurez, el porcentaje de germinación disminuye, ya que a medida que los frutos aumentan en madurez, también aumenta el deterioro fisiológico debido a la fermentación, que como parte del proceso, se caracteriza por temperaturas elevadas y cambios en acidez y esto conlleva a la larga, a una pérdida de la viabilidad de semillas.

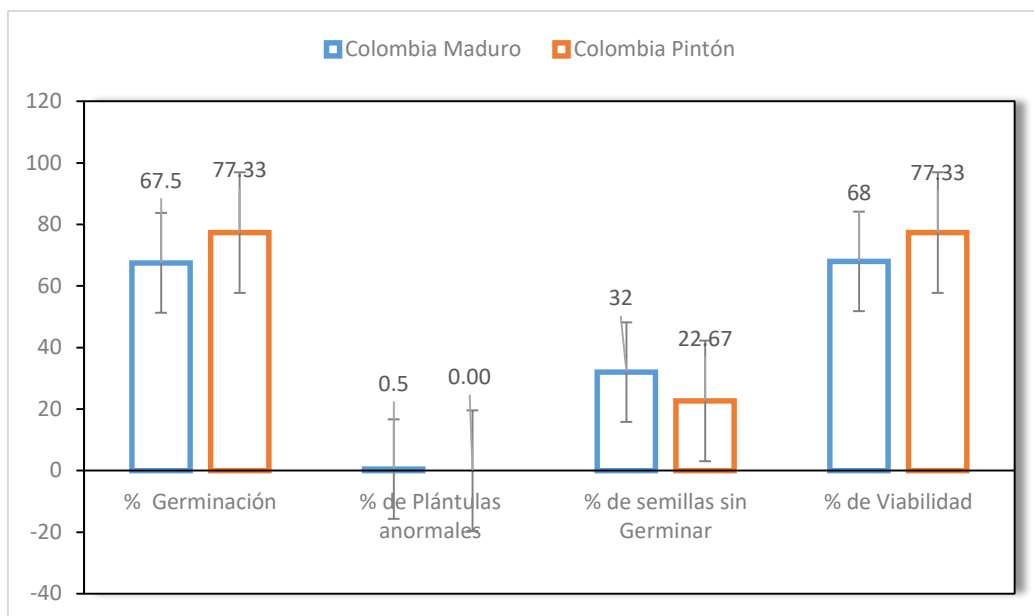


Figura 8. Comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para variables de la prueba de germinación estándar, en semillas de café de la variedad Colombia con dos grados de madurez.

La madurez del fruto es un factor de gran importancia en la calidad de la semilla desde el punto de vista de la germinación, lo cual coincide con lo observado por Koslowksy (1972) y Roberts (1972), quienes sostienen que la germinación de semillas fisiológicamente maduras, se mantiene por periodos prolongados. Sin embargo, en este trabajo la germinación para los grados de madurez no presentó diferencias significativas, lo que parece indicar que la semilla en estado de “Pintón” había alcanzado la madurez, y esto coincide con lo que encontraron Herrera *et al.* (1993), al realizar la evaluación sobre el almacenamiento en semilla de la variedad Caturra y no detectaron diferencias significativas en semillas provenientes de semilla en frutos con grado de madurez “Pintón” y “Maduro”.

Es importante mencionar que probablemente, fue necesario definir de manera más precisa los grados de madurez, es decir, por ejemplo, que fueran más contrastantes, para poder detectar diferencias en estudios como este. La evidencia podría ser, el hecho de que los valores fueron numéricamente diferentes, aunque estadísticamente no. En todo caso, un aspecto importante sería, que en próximos experimentos se monitoree la madurez de los frutos y se determine el punto óptimo de madurez, que casi siempre debiera coincidir con una máxima calidad de semilla y a partir de allí, se inicia la pérdida de calidad de las semillas en términos de viabilidad y vigor.

2.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

El efecto del tratamiento de envejecimiento acelerado como un indicador de vigor, se presenta en el Cuadro 7. Las variables que resultaron significativas ($P \leq 0,05$) para el estado de madurez fueron, Germinación y Viabilidad, mientras que, para el factor Tratamiento de envejecimiento, solo fue la Longitud de plúmula ($P \leq 0,05$). Ninguna variable fue significativa para la interacción de los dos factores de estudio.

Si observamos las variables para el factor Estado de Madurez, fueron apenas significativas ($p \leq 0.05$) aquellas que se relacionan con la calidad fisiológica en cuanto a las variables germinación o viabilidad; en cuanto al efecto del tratamiento de envejecimiento, en la calidad de semilla de café, desde el punto de vista del vigor de semillas, solo resultó significativa la variable Longitud de plúmula ($p \leq 0.05$). No obstante, debemos de recordar que el factor grados de madurez, requiere ser definido de manera muy precisa o que estos sean lo suficientemente contrastantes para que se detecten diferencias significativas más altas; lo que coincide con los resultados anteriores de la prueba de germinación estándar.

Cuadro 7. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en semillas de café de la variedad Colombia.

Variables	Fuentes de Variación			CV	R ²
	Estado de madurez (EM)	Tratamiento de Envejecimiento (TE)	EM x TE		
Índice de velocidad de emergencia	0.08 ns	0.14 ns	0.02 ns	107.6	0.09
Germinación (%)	1764 *	625 ns	441 ns	33.7	0.32
Plántulas anormales (%)	1.0 ns	4.0 ns	0.02 ns	249	0.11
Viabilidad (%)	1681 *	529 ns	442 ns	32.2	0.32
Longitud de plúmula (cm)	3.26 ns	4.47 *	1.43 ns	17.3	0.44
Peso seco de plúmula (g)	9.0 ns	1.8 ns	7.2 ns	13.3	0.21

Los resultados de esta investigación coinciden en parte, con lo reportado por Herrera *et al.* (1993), quienes no detectaron diferencias significativas en germinación en la variedad Caturra cuando probaron los grados de madurez “Pintón” y “Maduro”.

De acuerdo con Delouche y Caldewel (1960) el porcentaje de germinación por sí solo, no puede considerarse un adecuado índice de vigor, mientras que Aristizábal y Álvarez (2006) definen mejor este concepto y señalan que las semillas con germinación superior a 80 % después del envejecimiento acelerado podrían ser clasificados como de alto vigor, entre 60-80 % como vigor medio, y menores de 60 % como de bajo vigor.

Se puede decir entonces, que la semilla con un grado de madurez adecuado, como es el caso del estado de madurez de “Pintón” podría ser más vigorosa que aquella con grado de “Maduro” (Figura 9), si consideramos que el “Pintón” está más cercano a la madurez fisiológica que el grado de “Maduro”; sobre todo, si el grado “Maduro” lo relacionamos con pérdida de calidad por un grado de fermentación mayor. Esto coincide de nuevo con lo discutido en párrafos previos, referente a que, la calidad de semilla es buena hasta cierto punto y después esta empieza a reducirse a medida que la semilla es más madura; al mismo tiempo, otros procesos fisiológicos empiezan a ocurrir. Por otra parte, el comportamiento de los tratamientos dependerá de cómo se definan los tratamientos de “madurez”. Observando la Figura 9, se aprecia que hay algunas diferencias de vigor por el comportamiento de la germinación y viabilidad que se tuvo, después de la prueba de envejecimiento acelerado, de acuerdo al nivel de madurez. En este caso, hay mayor vigor en el estado de madurez “Pintón” (T3 y T4). Si observamos los resultados del estado de cosecha maduro (T1 y T2), vemos que hay un efecto muy fuerte de la prueba de vigor (envejecimiento acelerado), pues en la semilla con envejecimiento acelerado (T1), hubo una reducción muy fuerte comparado con T2, en las dos variables de calidad fisiológica. No ocurrió lo mismo en el “Pintón” (T3 y T4), pues los valores son muy parecidos y no hubo efecto del envejecimiento acelerado.

Otro aspecto interesante, es que, en los cuatro tratamientos, el Porcentaje de germinación (PG) y el % de viabilidad se comportaron igual.

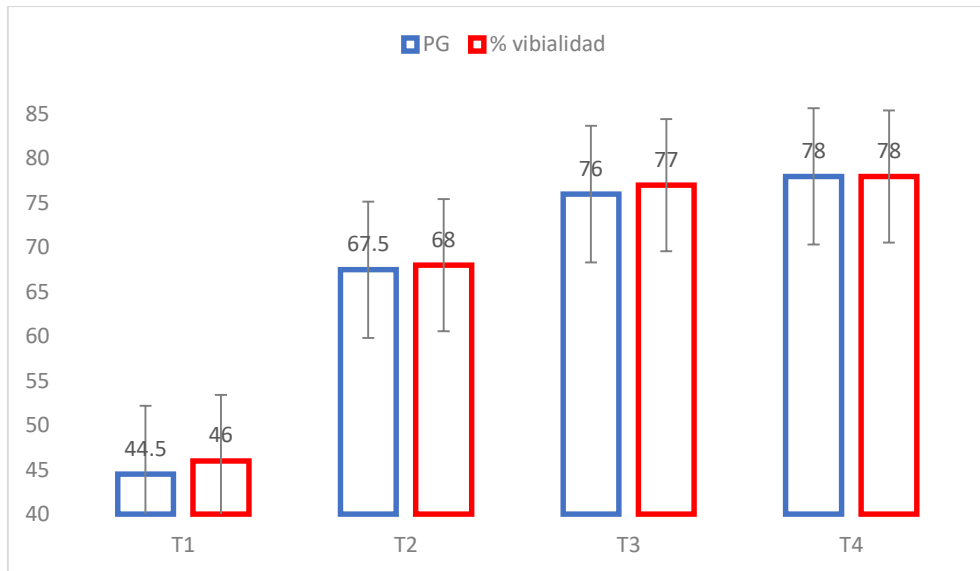


Figura 9. Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en dos grados de madurez de la variedad Colombia. T1 (Colombia en estado maduro con envejecimiento); T2 (Variedad Colombia en estado maduro sin envejecimiento); T3 (Variedad Colombia en estado pintón con envejecimiento); T4 (Variedad Colombia en estado pintón sin envejecimiento).

En la Figura 10 se presenta el comportamiento de las variables Longitud de Plúmula (LP) y el Índice de Velocidad de Emergencia (IVE), observándose que los valores fueron mayores en el estado de madurez Pintón (T3 y T4), y dentro de este grado de madurez, se nota un efecto del envejecimiento pues el valor del T4, es mayor. La variable Porcentaje de Plántulas Anormales (PPA), por obvias razones, tiene un efecto contrario a las dos variables anteriores, pues es mayor su valor, a medida que la semilla es de menor vigor (T1 y T3) por efecto del tratamiento de envejecimiento acelerado.

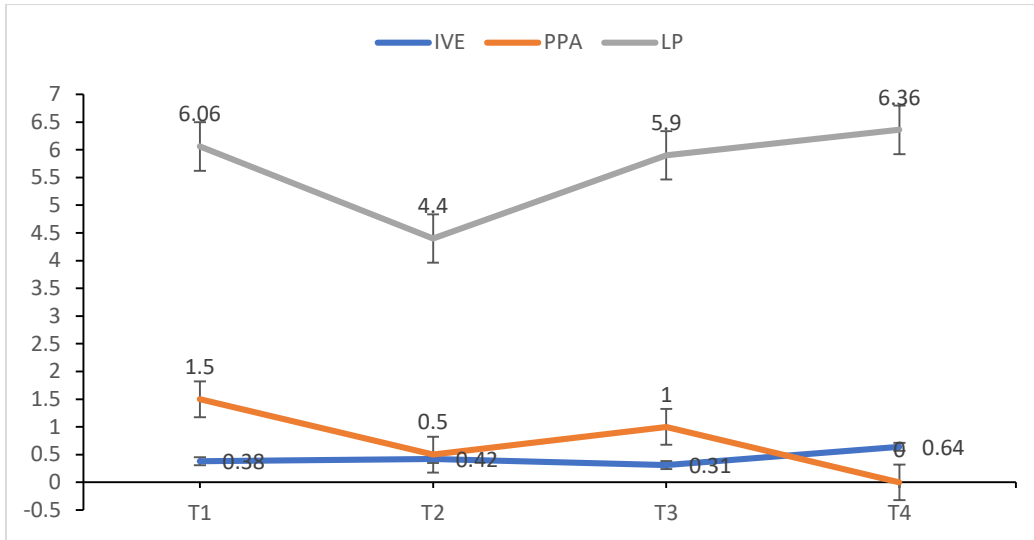


Figura 10. Comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para variables evaluadas en la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, en dos grados de madurez de la variedad Colombia. T1 (Colombia en estado maduro con envejecimiento); T2 (Variedad Colombia en estado maduro sin envejecimiento); T3 (Variedad Colombia en estado pintón con envejecimiento); T4 (Variedad Colombia en estado pintón sin envejecimiento).

En café Marín *et al.* (2003b), Sanz-Urbe *et al.* (2008), Carvajal *et al.* (2011) y Carvajal *et al.* (2012), al evaluar el color de la epidermis, encontraron diferencias significativas para estado de madurez.

Según Popinigis (1985), el punto de máximo peso de la materia seca coincide con aquel en el cual la semilla alcanza el máximo vigor y poder germinativo; en este punto, la semilla puede desempeñar eficientemente todas las funciones fisiológicas propias y se denomina punto de madurez fisiológica; de este momento en adelante, el peso seco, el vigor y el poder germinativo tienden a disminuir debido a procesos de deterioro. Esto confirma lo discutido anteriormente, referente a que, definir en un estudio como este, dos niveles de tratamientos como “Maduro” y “Pintón”, no es fácil, considerando que ambos criterios se relacionan con madurez fisiológica y que a medida que cualquiera de ellos esté más cerca a dicho concepto, mejor es la calidad de la semilla. Por lo tanto, en experimentos de esta clase, se recomienda que los niveles del factor madurez, sean lo suficientemente contrastantes.

2.6 CONCLUSIONES

Para el Porcentaje de Germinación derivado de una prueba estándar, aun cuando estadísticamente no hubo diferencias significativas, numéricamente si hubo efecto del grado de madurez, resultando mejor la germinación en la semilla cosechada en estado “Pintón”, mientras que el % de viabilidad, fue mayor en la semilla cosechada en estado Maduro.

Las variables que resultaron ligeramente significativas para el estado de madurez fueron, Germinación y Viabilidad, mientras que, para variables relacionadas con el tratamiento de envejecimiento; solo la Longitud de plúmula lo fue, indicando que los grados de madurez, si influyen en la calidad de semilla de café, desde el punto de vista de la viabilidad y el vigor de semillas.

El efecto ocasionado por el envejecimiento acelerado, aun cuando no fue tan contundente, hubo diferencias significativas, y más claridad del efecto del grado de madurez, ya que la semilla del grado “Pintón”, fue más vigorosa al resistir más el deterioro ocasionado, que la semilla de grado “Maduro”.

Debido al comportamiento que presentaron las variables derivadas tanto de la prueba de germinación estándar, como de las variables después del tratamiento de vigor, probablemente los grados de madurez no fueron lo suficientemente contrastantes para detectar diferencias estadísticas significativas más altas.

CAPÍTULO III. DETERIORO DE LA SEMILLA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN DOS DIFERENTES AMBIENTES DE CONSERVACIÓN

3.1 RESUMEN

El Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados ubicado en el Campus Montecillo y la Localidad de Zacamitla Municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz, fueron utilizados como dos ambientes de conservación, para evaluar el deterioro de la variedad Costa Rica 95 en ambos ambientes se monitoreo la temperatura y humedad relativa utilizando un data logger, para determinar su efecto sobre la viabilidad de semilla con tetrazolio. En la localidad de Zacamitla las condiciones prevalecientes tanto de temperatura como humedad relativa fueron, mayor humedad relativa (65 al 85 %) y mayor temperatura (17-18 °C), mientras que en el ambiente de Montecillo la semilla estuvo almacenada en condiciones de refrigeración y con baja humedad relativa (20 al 30 %) y menor temperatura (3 y -3 °C). El mejor ambiente para conservar la calidad de la semilla fue la localidad Zacamitla, ya que allí fue donde se presentaron diferencias significativas en la variable porcentaje de viabilidad.

Palabras claves: almacenamiento, humedad relativa, temperatura, viabilidad, germinación.

3.2 SUMMARY

The Seed Analysis Laboratory of the Postgraduate Program in Genetic Resources and Productivity-Seed Production Program of the Colegio de Postgraduados located in the Montecillo Campus and the Zacamitla locality, Municipality of Ixhuatlán del Café, Veracruz, were considered as conservation environments, to study the deterioration of the Costa Rica 95 variety. In both environments temperature and relative humidity were monitored using a Hobo or data logger, to determine their effect on the viability of seed with tetrazolium. In the Zacamitla locality the prevailing conditions for both temperature and relative humidity were higher relative humidity (65 to 85 %) and higher temperature (17-18 °C), while in the Montecillo environment the seed was stored under refrigerated conditions with low relative humidity (20 to 30 %) and lower temperature (3 and -3 °C). The best environment for preserving seed quality was the Zacamitla locality since there were significant differences in the percentage of variable viability.

Key words: storage, relative humidity, temperature, viability, germination.

3.3 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los autores coinciden que la semilla de café (*Coffea arabica* L.) es muy difícil de almacenar por periodos prolongados, y que requiere de contenidos altos de humedad y temperaturas medias para conservar por mayor tiempo su poder germinativo. Una excepción a lo anterior, la constituye el trabajo de Van der Vossen (1979), quien afirma haber logrado conservar la semilla de café por 24 meses, realizando un secado previo a la semilla (contenido de humedad de 10 y 11 %, y temperatura de 15 ° C), aunque menciona que la “energía de germinación” es mayor en semillas con alto contenido de humedad (41 %).

Si bien el deterioro de las semillas durante su almacenamiento se encuentra influenciado por una gran variedad de factores que determinan la pérdida de viabilidad (Heydecker, 1972; Bewley y Black, 1982), aunque se ha dado mayor importancia a los efectos de la temperatura de almacenamiento y a la humedad de la semilla (Arcila-Pulgarín, 1976; Van der Vossen, 1979); Aguilera y Goldbach, 1980; Ortuño, 1982; Rodríguez y Leme, 1985.

La semilla de café una vez almacenada, continúa secándose si el aire del ambiente es más seco que la misma semilla (humedad relativa inferior a un 60 %), pero si el ambiente es más húmedo, (humedad relativa de más del 80 %), ésta comenzará a absorber humedad. Como los periodos de almacenamiento pueden prolongarse durante un tiempo considerable, los cambios que se produzcan, por pequeños que sean, pueden causar alteraciones en la calidad (Wintgens, 2004).

Todas las semillas difieren en su tolerancia a la desecación que sigue tras su diseminación. Según este comportamiento, las semillas se pueden clasificar en ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Las semillas ortodoxas toleran una deshidratación hasta de 5 % en el contenido de humedad; mientras que, las semillas que toleran la deshidratación entre 10 % y 12.5 % de su contenido de humedad, se consideran intermedias y las semillas que toleran la deshidratación con contenidos de humedad entre 15 % y 50 %, se clasifican como recalcitrantes (Farrant *et al.*, 1993; Gentil, 2001).

En las semillas de café verde esto no es la excepción, ya que los cambios en su coloración son indicativos de deterioro por excesivo secado, almacenamiento

prolongado, así como altos contenidos de humedad en el grano, lo que ocasiona cambios tanto en la calidad de la semilla para germinación, como en las características sensoriales, cuando el producto final es calidad de taza. El objetivo del presente estudio fue evaluar la longevidad de la semilla de café (*Coffea arabica* L.), de la variedad Costa Rica 95, almacenada bajo condiciones diferentes de temperatura y humedad.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La cosecha se llevó a cabo en la Localidad de Zacamitla ubicada en el municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz, a una altura de 1178 msnm, con una Latitud de 19° 03' 35" y una longitud de 96° 55' 24", y la evaluación de la calidad de las semillas en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas, ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el estado de México.

3.4.1 Material vegetal

Variedad Costa Rica 95

Se cosecharon manualmente 15 kilos de café cereza de la variedad Costa Rica 95, se procesaron en una despulpadora manual número 4 de la marca Bonasa. Después del despulpado, el material se dejó fermentar en costales de polipropileno tejido (Costales donde se empaca el azúcar) durante 24 horas, transcurridas las 24 horas se checo que el mucílago se desprendiera fácilmente del grano, y que no hubiera viscosidad entre los granos de café (debe haber fricción entre los granos, los productores utilizan mucho el oído debido a que se escucha la fricción y al tocar los granos se sienten rasposos). Una vez que el mucilago se desprendió fácilmente, se procedió a lavar y durante este se quitaron todos los restos de cáscara que se pudieron caer a la semilla limpia durante el despulpado y semilla vana que se encontraba sobre la superficie del agua; el lavado se realizó varias veces hasta que la semilla quedó totalmente limpia. Después de realizar el lavado las semillas se dejaron secar a la sombra sobre papel Kraft, se monitoreo la humedad y se envasaron cuando alcanzaron el contenido de humedad del 25 %.

3.4.2 Tratamiento y Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DECA) con cuatro repeticiones de 50 semillas cada una, donde los tratamientos fueron los dos ambientes y el muestreo 0, el cual consistió en evaluar las variables antes de llevar las semillas a los ambientes de almacenamiento, a fin de tener el punto de referencia y comparar el comportamiento y el efecto del almacenamiento, a los 30 días después de almacenar.

Tratamiento 1: Costa Rica 95 Muestreo 0 de ambos ambientes.

Tratamiento 2: Costa Rica 95 Ixhuatlán del Café con muestreo a los 30 días después de envasado (DDE).

Tratamiento 3: Costa Rica 95 Refrigerador del Laboratorio con muestreo a los 30 días después de envasado (DDE).

3.4.3 Ambientes de almacenamiento

Localidad de Zacamitla

En esta localidad el almacenamiento se llevó a cabo en condiciones de temperatura ambiente. La muestra de semillas que se dejó en esta localidad fue colocada en un contenedor hermético de vidrio de 4.25 litros el cual contenía 1200 kg de semillas, se envasó el día 14 de enero de 2020, no se monitoreó el contenido de humedad, ya que no se contaba con el equipo necesario para tal fin, en consecuencia, el productor envasó la semilla cuando consideró que tenía la humedad adecuada que estaba alrededor de un 30 % de humedad ya que cuando la semilla se llevó al laboratorio se le realizó una prueba de contenido de humedad. El lugar donde se almacenó la semilla fue en un cuarto construido de cemento.

El clima predominante de la localidad Zacamitla es principalmente cálido-húmedo con lluvias recurrentes en verano y otoño y con nublados constantes y descenso notable en la temperatura.

Laboratorio de Análisis de Semillas

Condiciones de laboratorio (refrigerador). La humedad de la muestra que se llevó al laboratorio se mantuvo en constante monitoreo.

Se registró la temperatura y la humedad relativa para los dos ambientes durante los 30 días que duró el periodo de almacenamiento, mediante un Data Logger marca HOBO.

3.4.4 Almacenamiento de las muestras de semilla

Se realizaron mediciones del contenido de humedad constantemente hasta que llegó a 25 %; luego la semilla fue colocada en un contenedor hermético de vidrio de 4.25 litros el cual contenía 1200 kg de semillas. Una vez envasada la semilla, la muestra se acomodó en el refrigerador ubicado en el Laboratorio de Análisis de Semillas. Se tomó el dato de viabilidad inicial con cloruro de tetrazolio, el primer muestreo se realizó al mes de iniciado el periodo de almacenamiento para efectuar la prueba de viabilidad con tetrazolio, solo se realizó un muestreo debido a que la semilla ya no mostro viabilidad y por lo tanto, no era necesario realizar más muestreos. La cantidad de semilla obtenida por muestreo fue de 100 semillas, para integrar cuatro repeticiones de 25 semillas cada una y con estas efectuar la prueba de viabilidad con tetrazolio.

3.4.5 Prueba de viabilidad con tetrazolio

Para la extracción de embriones se tomó una muestra de 100 semillas de cada una de las variedades Costa Rica 95 y se siguió la metodología Dias y Silva (1998) con sus adecuaciones, se establecieron 4 repeticiones de 25 semillas (Figura 11).

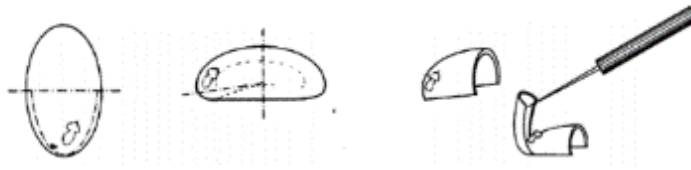


Figura 11. Extracción del embrión de la semilla de café (Dias y Silva, 1998).

Se realizó una modificación a la extracción de embriones de café propuesta por Dias y Silva (1998), por lo que a las 100 semillas se les retiró el pergamino, se colocaron en agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se les realizaron cortes longitudinales y transversales, para que las semillas se ablandaran.

Después de realizar los cortes, se cambió el agua en el que se encontraban las semillas, y de nuevo se volvieron a dejar en agua destilada durante 24 horas para permitir la correcta extracción del embrión. Después de este tiempo, se extrajeron los embriones y se colocaron en agua destilada como se observa en la (Figura 12).

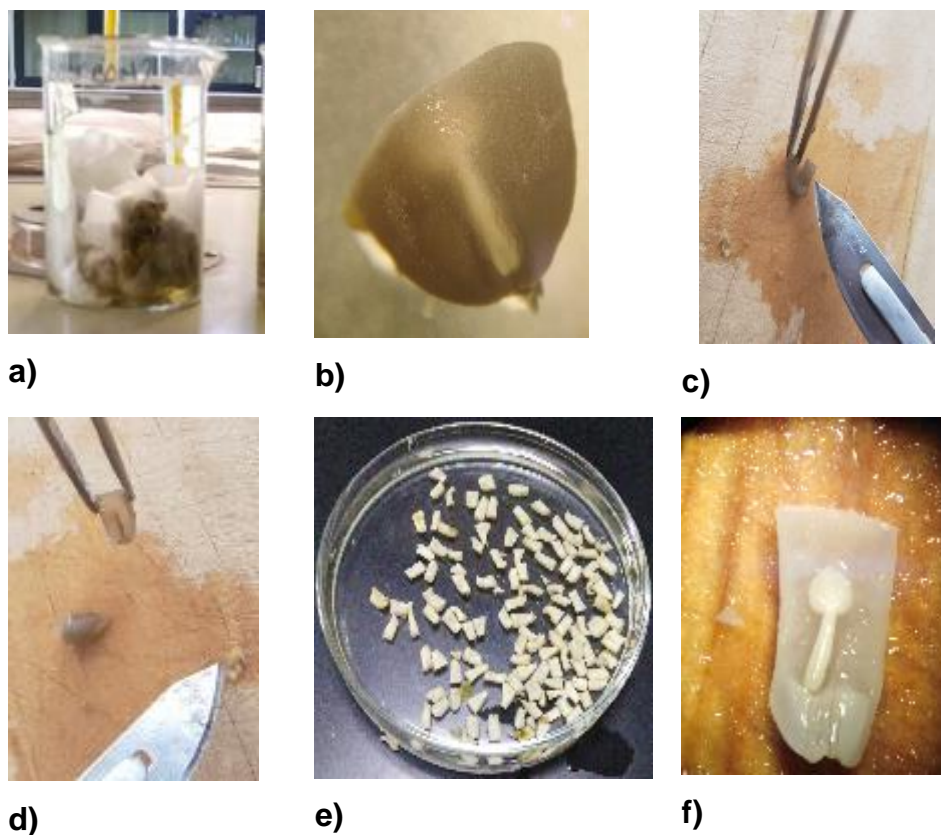


Figura 12. Extracción del embrión (metodología modificada). a) Primeras 24 horas de imbibición, b) Localización del embrión, c) Separación del endospermo, d) Lámina del endospermo que contiene al embrión, e) Láminas que contienen al embrión puestas en agua durante 24 horas, f) Embrión sin endospermo.

La solución de tetrazolio (2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio), se preparó a una concentración del 1.0 %, diluyendo un gramo de sal de tetrazolio en 100 ml de agua destilada con un pH de 7.0.

Cuando ya se tuvo preparada la solución de tetrazolio, se colocaron los embriones dentro de ella, y se pasaron a una cámara en ausencia de luz durante 24 horas.

3.4.5.1 Porcentaje de viabilidad

Los datos se presentan en porcentaje (MAPA, 2009). Con base a lo anterior, se contaron los embriones viables de las cuatro repeticiones para hallar el valor promedio, luego se dividió entre la cantidad semillas de cada unidad experimental y se multiplicó por 100 para expresar el valor en porcentaje, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de viabilidad} = \frac{\text{Valor promedio de los embriones viables}}{\text{Número de semillas utilizadas por repetición}} \times 100$$

La muestra evaluada fue aprobada cuando el porcentaje de viabilidad fue mayor al 80 % (INIAF, 2014).

Para evaluar correctamente los embriones, estos fueron colocados en toallas de papel previamente humedecidas para que estos no se deshidrataran, luego fueron separados con la ayuda de unas pinzas y observados bajo un microscopio estereoscópico, el número de embriones viables se clasificó de acuerdo al grado de tinción, utilizando la Tabla de Colores de Tejidos Vegetales Munsell (1977).

Se obtuvo el siguiente patrón de coloración (Figura 13) para la clasificación del grado de tinción de los embriones extraídos de las semillas y su respectivo nivel de viabilidad.

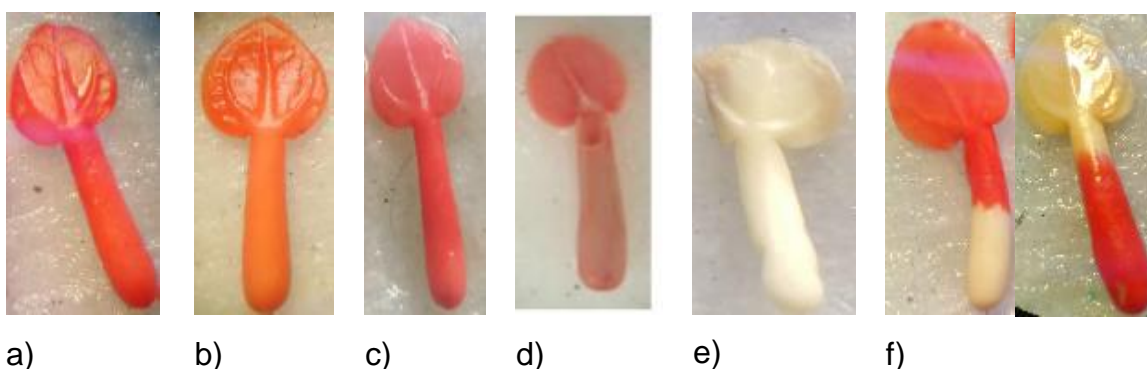


Figura 13. Patrones de tinción en embriones de café. **a)** 2.5 R 4/10 rojo fuerte (embrión viable), **b)** 2.5 R 7/8 rojo menos fuerte (embrión viable), **c)** 2.5 R 7/4 rosa fuerte (embrión viable), **d)** 1.5 R 8/4 rosa menos fuerte (embrión viable), **e)** 2.5 R 8/2 blanco (embrión no viable) y **f)** Algunas partes esenciales del embrión sin teñir (no viables).

3.4.6 Análisis estadístico

Antes de iniciar los análisis de las variables, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, así como la multicolinealidad. Los datos que no presentaron normalidad en los residuales, fueron transformados con la función arcoseno $\sqrt{X/100}$. Las variables se sometieron a un Análisis de Varianza (ANAVA) y prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij-esima unidad experimental

μ =Efecto de la media general

t_i =Efecto del i-esimo tratamiento

ϵ_{ij} =Efecto del error experimental asociado a la i-esima unidad experimental

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los días en que las semillas estuvieron en cada uno de los ambientes de almacenamiento, se registró la temperatura, la cual mostró un comportamiento diferencial (Figura 14), se puede observar que en el ambiente de Zacamitla, la temperatura se mantuvo en un rango de 17 a 28 °C; mientras que en el refrigerador fluctuó entre los 3 y -3 °C.

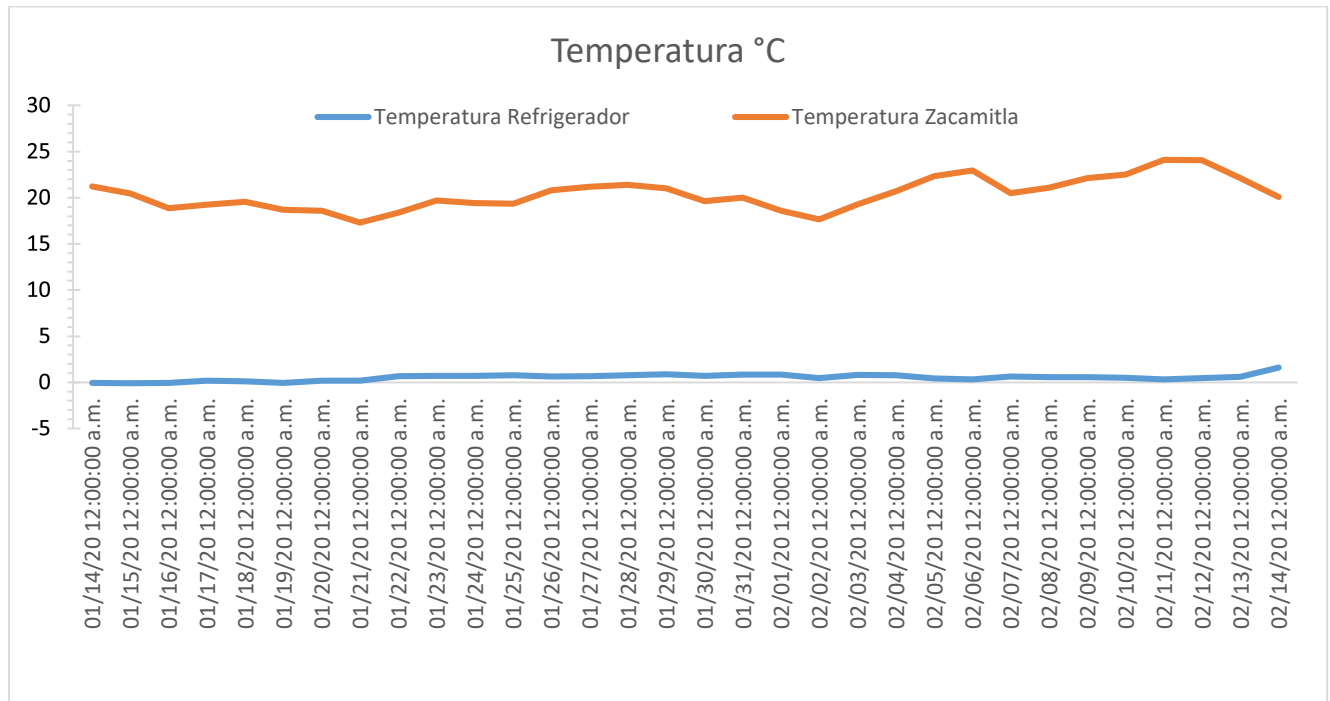


Figura 14. Comportamiento de la temperatura en los dos ambientes de almacenamiento evaluados.

En cuanto a la humedad relativa, esta se mantuvo entre el 65 y 85 % en Zacamitla y entre 20 y 30 % en el ambiente de refrigeración en Montecillo, estado de México. En la Figura 15 se observan algunos picos en el ambiente del refrigerador, lo que indica que probablemente fueron los momentos en los que se abría la puerta para realizar los muestreos. De acuerdo con los resultados obtenidos, en la localidad de Zacamitla las condiciones prevalecientes tanto de temperatura como humedad relativa fueron, mayor humedad relativa (65 al 85 %) y mayor temperatura (17-18 °C), mientras que en el ambiente de Montecillo la semilla estuvo almacenada en condiciones de refrigeración, con baja humedad relativa (20 al 30 %) y menor temperatura (3 y -3 °C).

Lo anterior coincidió en que, cuando las condiciones de temperatura y humedad fueron más altas, en ambos factores, la conservación de la semilla fue mejor.

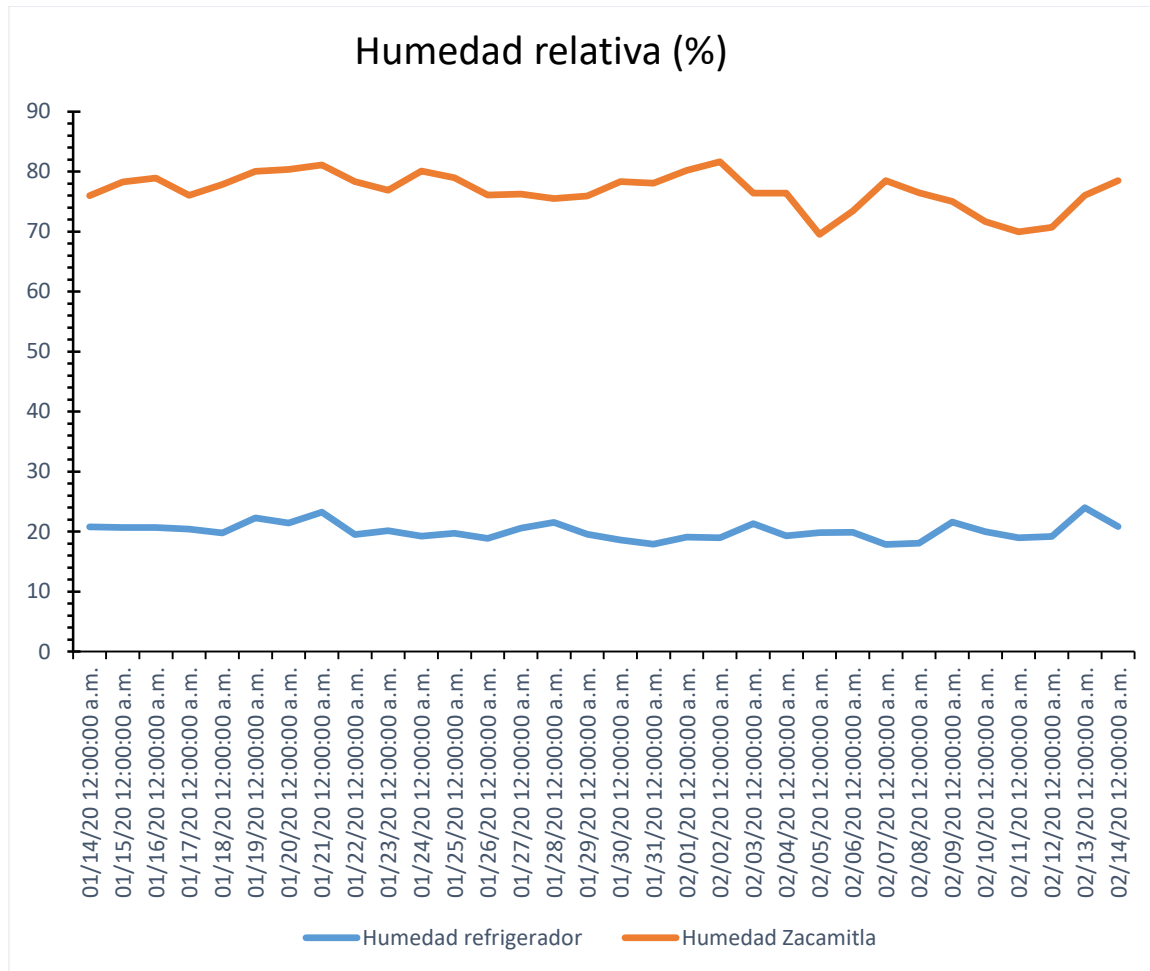


Figura 15. Comportamiento de la humedad relativa en los dos ambientes de almacenamiento evaluado.

3.5.1 Análisis de varianza

La prueba de TZ es rápida, comparada con otras pruebas indirectas de viabilidad y se basa en la actividad de las enzimas que pertenecen al grupo de las deshidrogenasas, que se relacionan con la actividad respiratoria de las semillas, ya que catalizan la reducción de la solución de tetrazolio (2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio) en los tejidos vivos (França-Neto *et al.*, 1998). Los resultados del análisis de varianza, de las variables evaluadas en la prueba de viabilidad con tetrazolio, se presentan en el Cuadro 8. Los patrones de tinción obtenidos en los embriones se codificaron de manera independiente,

resultando 5 variables que permitieron también tener una idea del vigor de las semillas (colores rojo fuerte, rojo tenue, rosa fuerte, rosa tenue y sin tinción). Esto fue posible ya que la prueba de tetrazolio, según la intensidad de tinción, además del porcentaje de viabilidad, con algo de experiencia en observación y evaluación del color, permite también evaluar el vigor de semillas.

Hubo diferencias significativas en las variables indicadoras de vigor, Embriones rojo fuerte ($P \leq 0.05$) y Embriones rosa tenue ($P \leq 0.01$). También fueron significativas las variables codificadas directamente como viabilidad, Numero de embriones viables y Porcentaje de viabilidad ($P \leq 0.01$).

Estos resultados indican que, al evaluar dos condiciones de almacenamiento de semillas de café, una resulto mejor que otra para conservar la calidad de semilla. Por otro lado, como se indicó anteriormente, la prueba topográfica de tetrazolio también evalúa vigor de semillas, cuando los patrones de tinción se pueden clasificar en categorías diferentes. En este caso, las 5 variables de color de embriones que se obtuvieron, es una indicación de las diferencias de vigor que hubo entre las semillas cuando las condiciones de un ambiente de almacenamiento fueron mejores. Por otro lado, el haber registrado diferencias de viabilidad en dos ambientes, también confirma que la alta o baja viabilidad de las semillas evaluadas en cada uno de los dos ambientes de conservación, está determinada por las condiciones predominantes de temperatura y humedad relativa.

Cuadro 8. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de viabilidad con TZ, en semilla de café (*Coffea arabica* L.), de la variedad Costa Rica 95 almacenada en dos ambientes diferentes de temperatura y humedad relativa.

Variables	Fuente de variación		
	Ambiente de almacenamiento	CV	R ²
Embriones rojo fuerte	37.33 *	19.61	0.57
Embriones rojo tenue	8.33 ns	42.31	0.28
Embriones rosa fuerte	1.08 ns	83.39	0.05
Embriones rosa tenue	16.33 **	117.80	0.66
Embriones sin teñir	1.08 ns	48.81	0.09
Porcentaje de viabilidad	385.58 **	3.26	0.91

Tomando como base el Muestreo 0 (Figura 16), se puede observar que la variable Porcentaje de viabilidad (PV) se ve afectada cuando se llevan las semillas al ambiente de refrigeración por 30 días, provocando la muerte total del embrión. Mientras que en las condiciones de conservación de Zacamitla, no se afectó esta variable: Esto concuerda con (Nichols y Christie, 1999) quienes indican que las modificaciones del ambiente, influyen la viabilidad de la semilla, especialmente cuando se aplican determinados tratamientos de temperatura y humedad.

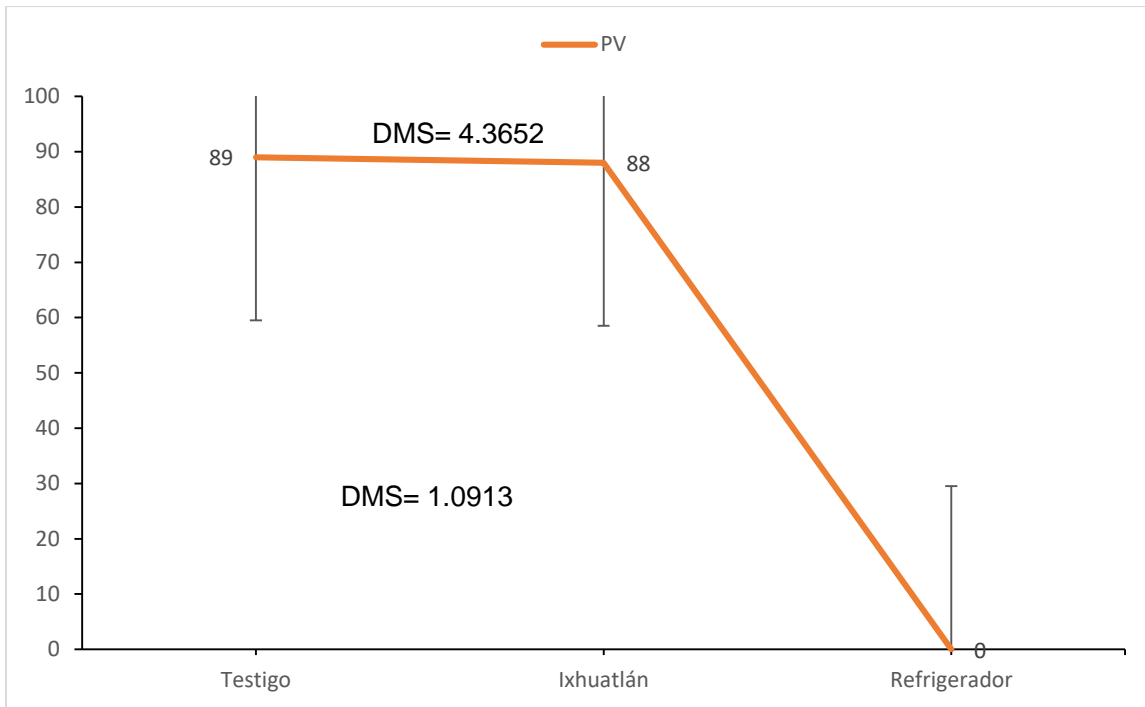


Figura 16. Comportamiento de la viabilidad de la semilla de café de la variedad Costa Rica 95, después de 30 días de conservada en los ambientes de Zacamitla y en refrigerador. Tukey ($P \leq 0.05$).

Floriano (2004) indica que la sensibilidad a la deshidratación y a las temperaturas bajas prolongadas, implica limitaciones graves para el almacenamiento comercial a largo plazo de las semillas recalcitrantes; esto se observó en las semillas de café que estuvieron en el ambiente de refrigerador con temperatura y humedad relativa bajas. Quizás algún otro ambiente con diferente material de empaque, temperaturas bajas controladas (5, 10, 15 °C), humedades relativas controladas y lapsos de evaluación (15, 30, 45 y 60 días) nos habrían dado otra perspectiva sobre periodos específicos del comportamiento de la longevidad de la semilla de café.

3.5.2 Comparación de medias

Prácticamente desde que se iniciaron los primeros estudios de fisiología en semillas de café, se empezó a concluir que estas semillas tienen un comportamiento recalcitrante (Barbosa y Herrera, 1990) y, por lo tanto, que su requerimiento para conservación coincide con temperaturas medias y altos contenidos de humedad que permiten una mejor conservación de la semilla.

Los resultados de este experimento evidencian la disparidad entre los efectos de cada ambiente de almacenamiento (Cuadro 9.), siendo la localidad de Zacamitla, Veracruz donde se obtuvo mayor porcentaje de viabilidad, bajo este contexto, lo que coincide con Arizaleta, *et al.* (2005), quienes después de algunas pruebas concluyeron que la condición de almacenamiento de 20 °C con 78 % de HR, fue la más favorable para mantener la calidad fisiológica de las semillas por periodos de almacenamiento de hasta diez meses.

Cuadro 9. Comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para la variable porcentaje de viabilidad con TZ, en semilla de café (*Coffea arabica* L.), de la variedad Costa Rica 95, almacenada en dos ambientes con diferente temperatura y humedad relativa.

Ambiente de almacenamiento	Variable	DMS
	Porcentaje de viabilidad	5.6
Zacamitla, Ver.	96.75 a	
Montecillo, México.	77.25 b	

3.6 CONCLUSIONES

Hubo diferencias significativas entre ambientes de almacenamiento, para las variables relacionadas con viabilidad y vigor de semillas de café.

La mejor condición para conservar la semilla de café con la mejor viabilidad y vigor, fue la del ambiente de Zacamitla, Ver., donde se tuvo una humedad relativa que fluctuó entre 65 y 85 % y una temperatura de 17 a 18 °C.

Los resultados de esta investigación, permiten sugerir que, en futuras investigaciones, se considere el estudio de otros factores como variedades y otras combinaciones de temperatura y humedad relativa, bajo condiciones de almacenamiento controlado, que permitan sugerir una recomendación más precisa sobre la conservación de la semilla de café.

CAPÍTULO IV. TRATAMIENTOS DE LAVADO Y ENMIELADO EN LA CALIDAD DE SEMILLA EN DOS VARIEDADES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

4.1 RESUMEN

En el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados ubicado en el Campus Montecillo, se evaluaron dos procesos de beneficio en dos variedades de café (*Coffea arabica* L.); se evaluó la calidad fisiológica y colorimetría de los granos. La calidad fisiológica se determinó con la prueba de germinación estándar y la prueba de vigor mediante la prueba de envejecimiento acelerado; la colorimetría se realizó con un espectrofotómetro MiniScan EZ 4500L marca HunterLab. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para el Porcentaje de Germinación después de la prueba de germinación estándar, pero si hubo para las variables relacionadas con vigor, después del envejecimiento acelerado, ya que todas las variables presentaron diferencias significativas, excepto el Porcentaje de Plántulas Anormales. Para el análisis de colorimetría también hubo diferencias significativas en todas las variables evaluadas; la escala de colores se obtuvo utilizando la escala HunterLab.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., germinación estándar, colorimetría.

4.2 SUMMARY

In the Seed Analysis Laboratory of the Postgraduate Program in Genetic Resources and Productivity - Seed Production Program of the Postgraduate College located at the Montecillo Campus, two processing methods were evaluated in two varieties of coffee (*Coffea arabica* L.); the physiological quality and colorimetry of the coffee seeds were evaluated. The physiological quality was determined with the standard germination test and the vigor test by applying accelerated aging test; colorimetry was carried out using a HunterLab MiniScan EZ 4500L spectrophotometer. The analysis of variance did not show significant differences for the germination percentage from the standard germination test, but it did for the vigor variables obtained after the accelerated aging test; since all variables showed significant differences, except for the Percentage of abnormal seedlings. For the colorimetry analysis there were also significant differences to all the variables evaluated; the color scale was obtained using the HunterLab scale.

Key words: *Coffea arabica* L., standard germination, colorimetry.

4.3 INTRODUCCIÓN

Un adecuado beneficio del grano de café, es fundamental para asegurar la calidad del mismo, ya que el 80 % de los problemas se originan en este proceso (Aristabal y Duque, 2005). El procedimiento tradicional, comienza con la recolección de los frutos, continúa con su despulpado, en el cual se les retira la cáscara para extraer las semillas por medio de aplastamiento mecánico. La etapa siguiente es la fermentación, donde se deja reposar las semillas en recipientes, entre uno y dos días para que se desprendan los azúcares que envuelven a estas. Una vez que ocurre el proceso de fermentado, la semilla de café se somete a un proceso de lavado con agua potable (Murthy y Naidu, 2012). La siguiente acción a realizar es el secado de las semillas y luego el almacenamiento.

La producción de cafés de alta calidad, se destaca por conservar una consistencia en las características físicas, sensoriales, prácticas culturales y procesos finales, distinguiéndose de los cafés corrientes y por los cuales los clientes están dispuestos a pagar un precio superior. Así pues, el concepto de calidad del café encierra aspectos inherentes a la calidad sanitaria, física, sensorial, química y la esperada por el consumidor, la cual es medida por el grado en que el producto satisfaga las necesidades de compradores y consumidores, y cumpla con las características sensoriales y sanitarias, como ocurre en el café colombiano (Pérez y Rosero, 2012).

Entre los factores que afectan la calidad de la semilla se encuentran la variedad, las condiciones de cultivo, la cosecha en el punto apropiado de madurez fisiológica, el procesamiento adecuado que no cause daños mecánicos a la semilla por fractura o fricciones, las condiciones de secado, el contenido de humedad final y la edad de la semilla.

Existe poca información referente a la influencia de los diferentes procesos de beneficio de café en los aspectos relacionados con la calidad de semilla, desde el punto de vista de su calidad para siembra, ya que los estudios de los procesos de beneficio han sido más enfocados a la afectación de la calidad en taza.

En la actualidad existen diferentes métodos mediante los cuales el café puede ser procesado después de la recolección. El método “honey”, miel o enmielado, es un método

intermedio entre el proceso húmedo y el seco, donde se extrae la cáscara, y se obtiene el café, pero sin remover el mucílago (Córdoba y Guerrero, 2016). No se ha estudiado si estas variantes en el proceso de beneficio afectan la calidad de semilla de café. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto sobre la calidad física y fisiológica de la semilla de café, por el diferente manejo durante el beneficio.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Localización

La semilla para el presente trabajo se obtuvo en la Localidad de Zacamitla municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz y la evaluación de la calidad de las semillas se realizó en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Programa de Producción de Semillas, ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

4.4.2 Material vegetal

El trabajo experimental se llevó a cabo utilizando las variedades Costa Rica 95 y Colombia.

4.4.3 Tratamientos y Diseño experimental

Para la prueba de germinación estándar y la determinación del color de la semilla, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DECA) y cuatro repeticiones, resultando los cuatro tratamientos siguientes:

Tratamiento 1: Colombia lavado (COL)

Tratamiento 2: Colombia enmielado (COE)

Tratamiento 3: Costa Rica 95 lavado (CRL)

Tratamiento 4: Costa Rica 95 enmielado (CRE)

La prueba de envejecimiento acelerado se realizó mediante un Diseño Completamente al Azar (DECA) con cuatro repeticiones, resultando los ocho tratamientos siguientes:

Tratamiento 1: Colombia lavado sin envejecimiento (COLSE)

Tratamiento 2: Colombia lavado con envejecimiento (COLCE)

Tratamiento 3: Colombia enmielado sin envejecimiento (COESE)

Tratamiento 4: Colombia enmielado con envejecimiento (COECE)

Tratamiento 5: Costa Rica 95 lavado sin envejecimiento (CRLSE)

Tratamiento 6: Costa Rica 95 lavado con envejecimiento (CRLCE)

Tratamiento 7: Costa Rica 95 enmielado sin envejecimiento (CRESE)

Tratamiento 8: Costa Rica 95 enmielado con envejecimiento (CRECE)

4.4.4 Manejo de la semilla durante el beneficio

Tratamiento de lavado

Se cosecharon manualmente 5 kilos de café cereza tanto para la variedad Costa Rica 95 como para la variedad Colombia, el despulpado se hizo en una despulpadora manual número 4 de la marca Bonasa. Después del despulpado, para el tratamiento de lavado se dejó fermentar la semilla de ambas variedades utilizando costales de polipropileno tejido (Costales donde se empaca el azúcar) durante 24 horas; transcurrido este tiempo, se checo que el mucílago se desprendiera fácilmente del grano, que no hubiera viscosidad entre los granos de café (debe haber fricción entre los granos, los productores utilizan mucho el oído debido a que se escucha la fricción y al tocar los granos se sienten rasposos). Una vez que el mucílago se desprendió fácilmente, se procedió al lavado, y durante este, se quitaron todos los restos de cáscara que pudieron haberse caído a la semilla limpia durante el despulpado y semilla vana que se encontraba sobre la superficie del agua; el lavado se realizó varias veces hasta que la semilla quedó totalmente limpia. Después de realizar el lavado se dejó secar a la sombra sobre papel Kraft. Se dejó secar por cuatro días, a los cuatro días se comenzaron a realizar las pruebas de calidad física de la semilla.

Tratamiento de enmielado

Se cosecharon manualmente 5 kilos de café cereza tanto para la variedad Costa Rica 95 como para la variedad Colombia, luego se despulparon en una despulpadora manual número 4 de la marca Bonasa. Posteriormente, la semilla se extendió sobre papel Kraft, sin hacer ningún lavado, y con la capa del mucílago se secó bajo la sombra. Las semillas se movieron constantemente para evitar que se pegaran ya que el mucílago contiene

azúcares. El secado duró 15 días y después de este se realizaron las pruebas de calidad fisiológica.

4.4.5 Pruebas de calidad fisiológica

4.4.5.1 Prueba de germinación estándar

De cada tratamiento de beneficio evaluado, se tomó una muestra de 200 semillas, para establecer cuatro repeticiones de 50 semillas cada una.

La semilla se sembró, usando el método “Entre Arena” misma que se esterilizó de acuerdo con las especificaciones de la ISTA (2015), con algunas modificaciones respecto a la desinfección de las semillas, la cual consistió en remojarlas en una solución de hipoclorito de sodio con una concentración del 5 % por 10 minutos, luego, se les eliminó el pergamino manualmente. La siembra se efectuó utilizando charolas de plástico de 26.7 cm de longitud por 17 cm de ancho, depositando las semillas a 1 cm de profundidad, 2.6 cm entre plantas y a una distancia de 3.4 cm entre surcos. Se aplicó un riego al momento de la siembra y después diariamente para mantener el sustrato húmedo.

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación (PG).

Se consideraron las plántulas con germinación normal que presentaron raíz, hipocótilo, epicótilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. El conteo se realizó a los 186 días después de haber establecido la prueba. Esta variable se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de plantas normales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PPA).

Se contaron las plántulas que presentaban malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales. La determinación se realizó mediante la fórmula:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de plantas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de semillas no germinadas (PSNG).

Se contaron las semillas que no presenten estructuras esenciales y el valor se obtuvo de la siguiente manera:

$$PG = \left(\frac{\text{Número de semillas no germinadas}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV).

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales), al finalizar la prueba.

$$PV = \left(\frac{\text{plántulas normales} + \text{plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

4.4.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

Se utilizó la metodología propuesta por Delouche y Baskin (1973), la cual consistió en someter las semillas a una temperatura de 41 ± 2 °C con una humedad relativa constante de 100 % durante 72 horas, en una cámara de ambiente controlado. Se utilizaron cajas tipo sandwicheras de 10 x 10 x 3.5 cm a las que se le agregó 100 ml de agua destilada, luego las semillas fueron depositadas sobre una tela metálica suspendida dentro de la caja para evitar el contacto directo de las semillas con el agua. En cada caja se depositaron 50 semillas por tratamiento formando una sola capa. Una vez transcurridas las 72 horas, las semillas fueron sembradas en cajas de plástico las cuales contenían arena de río como sustrato.

Variables evaluadas

Índice de Velocidad de emergencia (IVE)

Después de la siembra se realizaron conteos diarios a partir del día 28 después de la siembra que coincidió con el inicio de la emergencia de las primeras plántulas. El conteo

se realizó hasta que se tuvo un número constante de ellas. Se tomó como parámetro la aparición del estado de “soldadito” o “cerillo” sobre la superficie de la arena. Esta variable se calculó mediante la siguiente expresión, según Maguire (1962):

$$VE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Xi}{Ni} \right)$$

En donde:

VE = Velocidad de emergencia.

Xi = Número de plántulas emergidas por día.

Ni = Número de días después de la siembra.

Porcentaje de germinación (PG)

Las plántulas con germinación normal fueron aquellas que presentaron raíz, hipocótilo, epicótilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Se realizó un solo conteo a los 186 días de establecida la prueba.

$$PG = + \left(\frac{\text{Número de plántulas normales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PPA)

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales y/o aquellas que no lograron emerger a la superficie de la arena.

$$PPA = \left(\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV)

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales, más plántulas anormales), al finalizar la prueba mediante:

$$PV = \left(\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{50} \right) \times 100$$

Longitud de plúmula (LP)

Del total de las plántulas normales de cada repetición, se tomaron 10 plántulas al azar para medir la longitud de cada una, desde el cuello de la plántula hasta los cotiledones y el resultado se expresó en cm.

Peso seco de la plúmula (PSP)

De cada unidad experimental se tomaron 10 plántulas normales, se lavaron, para eliminar los residuos de arena y luego se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, este material se colocó en una bolsa de papel perforado y se puso a secar en una estufa calibrada a 70 °C durante 72 h (ISTA, 2005); transcurrido ese tiempo, las muestras se pesaron en una báscula electrónica y se registró el peso seco en gramos por plántula.

4.4.5.3 Análisis de colorimetría

Se registraron los valores de luminosidad (L) y de los espectros de intensidad de coloración, color rojo (a) y de color amarillo (b) del pergamino de cada tratamiento, mediante un espectrofotómetro MiniScan EZ 4500L marca HunterLab (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, VA) provisto de una fuente de iluminación D65, la cual incidió sobre la muestra a 45 ° y el observador a 0°. Las mediciones de color externo se llevaron a cabo utilizando la escala HunterLab.

4.4.6 Análisis estadístico

Antes de iniciar el análisis de las variables, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, así como la multicolinealidad. Los datos que no presentaron normalidad, en los residuales, fueron transformados con la función arcoseno $\sqrt{X/100}$. El número de embriones viables se clasificó de acuerdo al grado de tinción, utilizando la Tabla de Colores de Tejidos Vegetales Munsell (1977).

Las variables de calidad fisiológica y envejecimiento acelerado se sometieron a un Análisis de Varianza (ANAVA) y prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) usando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij-esima unidad experimental

μ = Efecto de la media general

t_i = Efecto del i-esimo tratamiento

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la i-esima unidad experimental

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Prueba de germinación estándar

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de la prueba de germinación estándar en relación a los dos factores estudiados. Se puede observar que no hubo diferencias significativas ($P \geq 0.05$), en ninguna variable tanto para los factores Variedades, Procesos de beneficio de Enmielado y Lavado ni para la interacción de los dos factores estudiados.

Cuadro 10. Cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de germinación estándar, en semilla de café (*Coffea arabica* L.), de dos variedades y dos procesos de beneficio.

Variables	Factores de estudio				
	Variedades (V)	Procesos (P)	V x P	CV	R ²
Germinación (%)	4.0 ns	225 ns	441 ns	30.1	0.14
Plántulas anormales (%)	90.25 ns	72.25 ns	56.25 ns	153.7	0.44
Semillas sin germinar (%)	56.25 ns	552.25 ns	812.25 ns	56.2	0.23
Viabilidad (%)	56.25 ns	552.25 ns	812.25 ns	30.8	0.23

Al respecto debemos indicar que se especulaba que la semilla que no fue sometida al proceso de fermentación para retirar el mucílago, presentaría inhibidores al germinar, sin embargo, este químico posiblemente se eliminó, ya que el tratamiento de la variedad Colombia en enmielado presentó mejor viabilidad en comparación a los demás tratamientos (Cuadro 11 y Figura 17).

En este sentido, Velasco y Gutiérrez (1974), observaron un efecto inhibitorio causado por el endocarpio y la pulpa de la fruta, y asumieron que se debía a un inhibidor cuyas propiedades diferían de las del ácido abscísico (ABA). Se ha observado, que la presencia del (ABA) en el endospermo y el embrión de la semilla, no representa ningún problema de imbibición en la semilla (Valio, 1976).

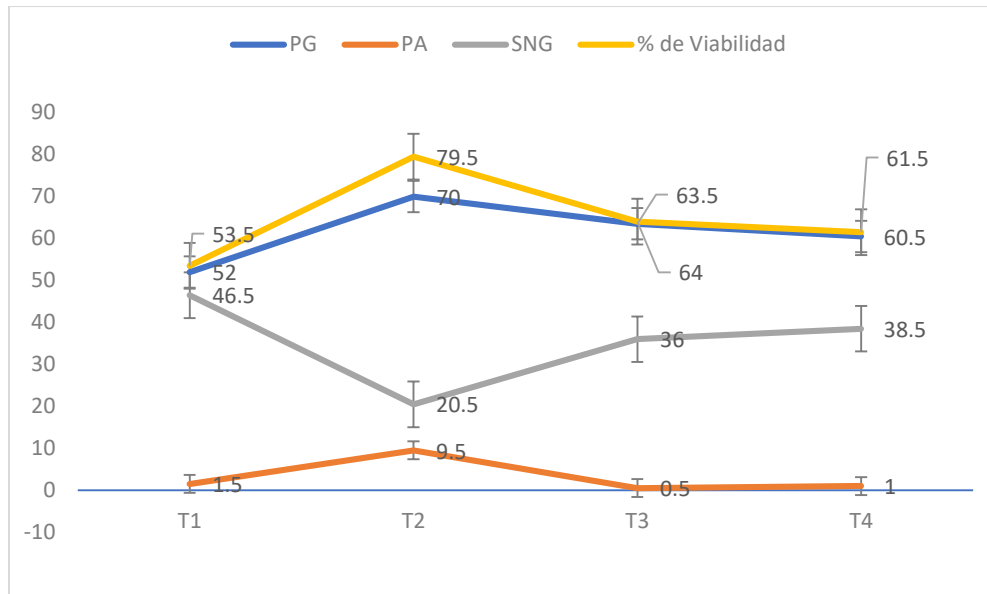


Figura 177. Medias de Tukey ($P \leq 0.05$) de las variables de la prueba de germinación estándar en dos procesos de beneficio de semilla de café (*Coffea arabica* L.). T1= COL; T2: = COE; T3 = CRL; T4 = CRE; PG= Porcentaje de germinación; PA= Plántulas anormales; NSG= Número de semillas sin germinar; % de Viabilidad= Porcentaje de viabilidad.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden a los reportados por Valiό (1976), en donde se indica que la germinación ocurre solo cuando el embrión esta desprovisto del endocarpio. La inhibición de la germinación se ha asociado con las cubiertas de las semillas desde siempre. En muchos casos, se han reportado mecanismos en los cuales la semilla puede superar la inhibición impuesta por la cubierta de la semilla, por ejemplo, la activación de los reguladores del crecimiento (Brown *et al.*, 1975; Côme, 1968; Esashi *et al.*, 1975), o la activación de enzimas hidrolíticas responsables del debilitamiento de la cubierta (Ikuma y Thimann, 1963).

4.5.2 Prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

Los resultados del análisis de varianza para los efectos de la prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado, se presentan en el Cuadro 11. El Índice de Velocidad de Emergencia, como variable de vigor, fue significativo ($P \leq 0.01$) para el factor de variación Envejecimiento y para la Interacción V x E. Hubo diferencias en porcentaje de Germinación de semillas para Proceso de beneficio ($P \leq 0.05$), y para Envejecimiento y

la Interacción V x P ($P \leq 0.01$). En la variable Plántulas anormales, hubo diferencias significativas para Proceso de beneficio ($P \leq 0.01$) y para la Interacción V x E ($P \leq 0.05$). La Viabilidad, fue diferente solo para Proceso de beneficio, Envejecimiento y la interacción V x P ($P \leq 0.01$). La Longitud de plúmula y Peso seco de plúmula, han sido consideradas también como variables que miden vigor de semilla y ambas fueron significativas para los tres factores principales de estudio ($P \leq 0.01$); las interacciones también resultaron significativas ($P \leq 0.01$) ($P \leq 0.05$), excepto la interacción V x E ($P \geq 0.05$).

Cuadro 11. Cuadrados medios para variables fisiológicas en dos variedades y dos procesos de beneficio de semilla de café (*Coffea arabica* L.), después del envejecimiento acelerado.

Variables	Fuentes de Variación							CV	R ²
	Variedad (V)	Proceso (P)	Envejecimiento (E)	V x P	V x E	P x E			
Índice de vel. de emergencia	0.09 ns	0.01 ns	0.91 **	0.11 ns	0.40 **	0.02 ns	86.46	0.55	
Germinación (%)	364.5 ns	1458.0 *	13612.5 **	4232.0 **	480.5 ns	288.0 ns	43.79	0.74	
Plántulas anormales (%)	28.13 ns	105.13 **	10.13 ns	28.13 ns	66.13 *	3.13 ns	160.31	0.40	
Viabilidad (%)	595.13 ns	2346.13**	143.65.13 **	4950.13 **	190.13 ns	231.13 ns	43.10	0.74	
Long. de plúmula (cm)	34.32 **	16.19 **	91.33 **	32.08 **	3.69 ns	14.10 **	36.10	0.84	
Peso seco de plúmula (g)	0.46 **	0.24 **	0.76 **	0.23 **	0.01 ns	0.08 *	43.44	0.79	

4.5.2.1 Comparación de medias

En el Cuadro 12, se presentan los resultados de la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se confirma lo que se observó en el análisis de varianza, ya que los promedios de las variables resaltan las diferencias de comportamiento de los factores estudiados. Por ejemplo, el efecto de Variedades se aprecia en los promedios significativos de las variables Longitud de plúmula y Peso seco. En el caso del comportamiento de los dos Procesos de beneficio, en todas las variables los promedios fueron significativos, excepto en el Índice de velocidad de emergencia. Finalmente, para el caso del efecto de la Prueba de envejecimiento acelerado, este fue significativamente diferente en todas las variables, a excepción de Plántulas anormales.

Si examinamos el comportamiento del efecto de las pruebas de Germinación estándar (Cuadro 10) y la de Envejecimiento acelerado (Cuadro 12), hay que resaltar que hubo diferencias claras en los efectos de los factores, ya que en el primer caso, para ninguna variable hubo diferencias significativas ($P \geq 0.05$); mientras que en el caso del efecto del Envejecimiento Acelerado, el comportamiento de los tres factores de estudio fue más contundente; sobre todo, si observamos los valores de significancia (Cuadro 11) y los promedios obtenidos para casi todas las variables (Cuadro 12).

Por otro lado, en cuanto a la naturaleza de las variables, en el experimento de la Prueba de Envejecimiento Acelerado, se debe resaltar que hubo mayor claridad en los efectos de la prueba, para el caso de las variables que son sinónimo de vigor, tal es el caso de, Longitud de plúmula y Peso seco. Esto indica que las variedades tienen diferentes características de vigor y, por lo tanto, cuando se procesan las semillas de una manera u otra, ello afecta la calidad de semillas desde el punto de vista del vigor. En cuanto a las interacciones, al resultar significativa la interacción V x P, indica que las variedades se comportan de manera diferente si cambiamos el método de proceso de beneficio de las semillas; mientras que en el caso de la interacción P x E, el vigor de semillas se comporta diferente si el proceso de beneficio de las semillas cambia.

Cuadro 12. Comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para variables fisiológicas en dos variedades y dos procesos de beneficio de semilla de café (*Coffea arabica* L.), después del envejecimiento acelerado.

Factor	Variables					
	IVE	PG	PPA	PV	LP	PS
Variedad						
Colombia	0.32 a	44.25 a	3.50 a	47.75 a	4.79 a	0.48 a
Costa Rica 95	0.21 a	37.50 a	1.63 a	39.13 a	2.72 b	0.24 b
Proceso						
Enmielado	0.28 a	47.63 a	4.38 a	52.00 a	4.49 a	0.45 a
Lavado	0.25 a	34.13 b	0.75 b	34.88 b	3.05 b	0.27 b
Envejecimiento						
Testigo	0.43 a	61.50 a	3.13 a	64.63 a	5.45 a	0.51 a
Envejecido	0.10 b	20.25 b	2.00 a	22.25 b	2.07 b	0.21 b
DMS	0.17	13.06	2.99	13.66	0.99	0.11

IVE= Índice de velocidad de emergencia; PG= Porcentaje de germinación; PPA= Porcentaje de plántulas anormales; PV= Porcentaje de viabilidad; LP= Longitud de la plúmula; PS= Peso seco de plántula.

El éxito del establecimiento del cultivo del café, se basa en plántulas que se originan de semillas de buena calidad. Por lo tanto, uno de los aspectos críticos del establecimiento, es disponer de semillas que cumplan los requisitos de buena calidad, para que aseguren el óptimo establecimiento. El proceso de producción para obtener semilla de buena calidad, implica manejar el cultivo de manera óptima y con el mayor cuidado posible, lo que culmina con una evaluación óptima de los aspectos que determinan dicha calidad de semilla; esto es, alta viabilidad y alto vigor que aseguren el establecimiento de plántulas con el potencial necesario para establecer buenas plantaciones y eventualmente ello contribuya al buen desempeño hasta la cosecha (Botelho, *et al.*, 2020).

Para evaluar la calidad fisiológica de semillas de café, se ha utilizado la Prueba de germinación estándar (ISTA, 2012); y más recientemente, para evaluar el vigor, se han propuesto muchos métodos. Uno de ellos es la Prueba de envejecimiento acelerado (TeKrony, 2005). El vigor de la semilla, se ha evaluado mediante variables como longitud de hipocótilo, de radícula y de peso de materia seca.

Los resultados de esta investigación coinciden con los que reportan Barbosa y Herrera, (1990), quienes encontraron una fuerte asociación entre viabilidad y longitud de hipocótilo, lo que confirmó que la prueba de envejecimiento acelerado, puede ser utilizada como indicador de vigor.

En semillas de café, existen trabajos recientes relacionados con el vigor, sin embargo, en algunos de ellos, por ejemplo, el de Arias *et al.* (1981), se menciona una disminución en la longitud del hipocótilo y se anota que, a pesar de los porcentajes altos de germinación, la semilla se deteriora después de poco tiempo de almacenada.

4.5.3 Análisis de colorimetría

El análisis de varianza (Cuadro 13) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.001$) en los factores principales, así como en la interacción, para las variables relacionadas con los patrones de colorimetría evaluados.

En el caso de los promedios por variable según el factor estudiado (Cuadro 14), al observar los valores, se confirman las diferencias significativas tanto para el factor Variedad como para el de Procesos de beneficio. Para luminosidad (L), se encontraron los valores más altos para los tratamientos con lavado en ambas variedades y corresponden a semillas, que debido al proceso de beneficio que involucró un lavado de las mismas, son más brillantes; para el parámetro de color rojo (a^*), los valores más altos se encontraron en los tratamientos de enmielado, las que en este caso corresponden a semillas que tienden a ser más oscuras; y para el parámetro que mide color amarillo (b^*), se encontraron los valores más altos en la variedad Colombia para los dos procesos de beneficio. La interacción V x P indica los colores característicos que se presentaron, al combinar Proceso con Variedades, habiendo coincidencia en que la semilla que pasó por el proceso de lavado correspondió a un color más claro, sin importar la variedad.

Otro aspecto importante, es que las diferencias de color anteriores, pudieron deberse al contenido de azúcares que presenta el mucilago en cada variedad, ya que uno de los componentes del fruto del café, que es una drupa sincárpica bicarpelar son el mesocarpio, también conocido como pulpa de café, ubicada justo debajo del pericarpio





(piel) y presenta una textura fibrosa, de coloración amarillenta y con sabor dulce (Heeger, *et al.*, 2017).

Cuadro 13. Cuadrados medios de las variables relacionadas con parámetros de colorimetría de semilla, de dos variedades de café (*Coffea arabica* L.) y dos procesos de beneficio.

Variables	Fuente de variación				
	Variedad (V)	Proceso (P)	V X P	CV (%)	R ²
L	270.09 **	602.23 **	1.62 **	0.27	1.0
a	14.30 **	266.02 **	6.60 **	2.25	1.0
b	32.51 **	10.51 **	0.53 **	0.89	0.99
Chroma	13.48 **	73.01 **	1.10 **	0.86	1.0
Hue	137.57 **	1157.78 **	45.28 **	0.17	1.0

L: Luminosidad; a: Parámetro que mide tonos de color rojo; b: Parámetro que mide tonos de color amarillo.

Cuadro 14. Promedios para parámetros de colorimetría en semillas de dos variedades de café (*Coffea arabica* L.), para dos procesos de beneficio.

Factor	Clasificación HunterLab	Variables				
		L	a	b	Chroma	Hue
Variedad (V)						
Colombia	-	46.39 a	6.93 b	24.45 a	25.65 a	254.83 a
Costa Rica 95	-	36.90 b	9.12 a	21.16 b	23.53 b	248.06 b
Proceso (P)						
Lavado	-	48.73 a	3.32 b	21.87 b	22.12 b	261.27 a
Enmielado	-	34.56 b	12.73 a	23.74 a	27.06 a	241.63 b
Interacción (V x P)						
Colombia lavado		53.84 a	2.97 d	23.30 b	23.49 c	262.71 a
Colombia enmielado		38.93 c	10.90 b	25.59 a	27.81 a	246.95 c
Costa Rica 95 lavado		43.61 b	3.67 c	20.43 d	20.76 d	259.83 b
Costa Rica 95 enmielado		30.18 d	14.53 a	21.88 c	26.30 b	236.30 d
DMS1		0.15	0.24	0.27	0.28	0.57
DMS2		0.29	0.47	0.53	0.55	1.12

Luminosidad: Luminosidad: a: Parámetro que mide tonos de color rojo;b: Parámetro que mide tonos de color amarillo.

Se ha observado que el color es importante para definir la calidad del café en taza y en algunos casos, se relaciona con la calidad fisiológica de la semilla. Por ejemplo, la clasificación del café beneficiado bajo el proceso denominado Honey, se establece en base al color del pergamino. Este puede clasificarse como Honey Amarillo, Honey Rojo y Honey Negro y estos colores se dan dependiendo de la variedad de café y los grados Brix que contenga el mucílago; en este caso, se ha reportado que hay diferencias varietales en el color de las semillas, pues algunas son más claras u oscuras que otras. Además, como ya se vio en los resultados obtenidos, el proceso de beneficio interacciona con el color de semilla de las variedades (Poltonieri y Rossi, 2016).

Para producir un café Honey de buena calidad, es importante el tiempo de secado, que se esté moviendo constantemente la semilla para evitar problemas con hongos. Poltonieri y Rossi (2016) mencionan que el tiempo de secado de la muestra con mayor puntuación es cuando transcurren alrededor de 13 días, un valor que se encuentra dentro del rango ideal para un café clasificado como Honey rojo.

En el Cuadro 15, se presentan los valores de correlación (solo los significativos) entre parámetros de colorimetría y caracteres de calidad fisiológica como viabilidad y vigor. El hecho de que se correlacionen los dos grupos de caracteres, es una observación importante desde el punto de vista del manejo de la semilla, ya que como se confirma en los resultados del Cuadro 15, esto podría servir como un indicador de que ciertos procesos o variedades pueden interferir o interaccionar con cuestiones de vigor o germinación.

Cuadro 155. Valores de correlación de Pearson y significancia de variables de colorimetría y fisiológicas, en semillas de dos variedades de café (*Coffea arabica* L.), para dos procesos de beneficio.

Variable	L	a	b	Chroma	Hue	IVE	% G	PA	% V	LP	PSP
L		-0.92 ***			0.94 ***						
a				0.81 ***	-0.99 ***						
b				0.78 **		0.66 **		0.63 *		0.74 **	
Chroma					-0.74 **			0.56 *	0.62 *		0.59 *
IVE							0.69**	0.77 **	0.85 ***	0.59 *	0.67 **
% G									0.94 ***		0.73 **
PA										0.70 **	
% V											0.76 **

L: Luminosidad; a: Parámetro que mide tonos de color rojo; b: Parámetro que mide tonos de color amarillo; Chroma: Parámetro que mide el matiz o tono; Hue: Parámetro que mide la saturación; IVE: Índice de velocidad de emergencia; % G: Porcentaje de germinación; PA: Plántulas anormales; % V: Porcentaje de viabilidad; LP: Longitud de plántula; PSP: Peso seco de plúmula.

Para la calidad de semillas de café, el color podría ser importante, pero no tiene que haberse dado un beneficio de emielados como se realizó en este experimento; más bien las semillas que vienen de un procesamiento convencional pueden tener colores diferentes y esto puede deberse a que durante el despulpado la semilla sufre algún daño. Se observó que las semillas que tienen una tonalidad más oscura en el pergamino, presentan daño y coincide en que son semillas no viables, lo que podría relacionarse a su vez, con procesos de fermentación que conllevan altas temperaturas y cambios de PH, que podrían explicar el deterioro que ocurrió en las semillas.

Se considera importante que, al momento del despulpado, se calibre bien la despulpadora, ya que de no hacerlo, el despulpado puede ocasionar daños y esto podría reflejarse en la calidad fisiológica de la semilla. Algunos productores acostumbran dentro de sus parcelas manejar muchas variedades de café, por lo que, el no hacer la cosecha por variedad hace que los granos de café cereza se mezclen, ocasionando que al despulpase los granos se dañen; por ejemplo, el grano de la variedad Garnica es más pequeño comparado con Pacamara si estas dos variedades se despulpan al mismo tiempo, en la variedad Pacamara habría como consecuencia más semilla dañada lo que demerita la calidad de la misma.

El color del grano está relacionado con las especies cultivadas. Por ejemplo, *C. arabica* presenta granos de color verde-azulado, mientras que *C. canephora* produce granos de color más café. Los resultados de esta investigación son contrarios a lo reportado por Santoyo *et al.* (1996), quien no encontró diferencias significativas en color del grano; se ha observado que esto ocurre, cuando se involucran procesos como el del beneficiado en húmedo, ya que el resultado es que, se obtienen semillas más claras, por lo que constituye una razón de esto y por lo tanto, no se aprecian diferencias entre variedades de *Coffea arabica* L.

4.6 CONCLUSIONES

Se tuvo un comportamiento diferente de las variedades Colombia y Costa Rica 95, para variables relacionadas con vigor de semillas, como Longitud y Peso seco de plúmula, ya que la variedad Colombia, registró mejor comportamiento, que la variedad Costa Rica 95.

Hubo diferencias significativas en los procesos de beneficio de Lavado contra Enmielado, en todas las variables evaluadas, excepto para Índice de velocidad de emergencia, y de manera particular, un mejor comportamiento en germinación y vigor de semillas, cuando estas se procesaron con enmielado que con lavado.

El tratamiento de Envejecimiento acelerado, tuvo un comportamiento diferente para todas las variables evaluadas, excepto para Plántulas anormales.

La interacción V x P fue significativa para la mayoría de las variables de germinación y vigor de semillas, indicando que la manera como se procese la semilla, afecta el comportamiento de las variedades.

Los valores de colorimetría obtenidos, indican que los procesos de beneficio afectan la calidad de la semilla de las variedades de café, ya que se obtuvieron tonalidades diferentes en los tratamientos evaluados.

El parámetro de colorimetría b, que indica colores claros, se correlacionó positivamente con variables como Índice de velocidad de emergencia y Longitud de plúmula, que son dos variables relacionadas con vigor de semilla, lo que podría estar indicando que el vigor se modifica cuando el color es diferente en las semillas, por ejemplo, cuando la coloración de semilla está influenciada por el proceso de beneficio.

CONCLUSIÓN GENERAL

En las diferentes fases donde se llevó a cabo la investigación de los factores que afectan la calidad física y fisiológica de semilla de café (*coffea arabica* L.) durante el manejo poscosecha, se observó que hay diversos factores que deterioran la calidad de la semilla, como la época de cosecha, grado de madurez, proceso de beneficiado y condiciones de almacenamiento. Se observó que todos los factores mencionados anteriormente influyen significativamente en la calidad de la semilla, sin embargo, los factores de mayor consideración en el manejo de semilla de café para siembra, son el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento, ya que se percibió que las semillas que tenían mayor contenido de humedad y estuvieron sometidas a la temperatura ambiente del lugar de donde fueron extraídas, tuvieron mejor comportamiento en viabilidad y vigor, comparadas con las semillas que estuvieron sometidas a temperatura controlada. La época de cosecha también juega un papel muy importante, en este sentido, la mejor época de cosecha fue la de enero, ya que fue donde se obtuvo un mayor peso volumétrico y peso de mil semillas. En cuanto a colorimetría, se correlacionó positivamente con variables como índice de velocidad de emergencia y longitud de plúmula, que son dos variables relacionadas con vigor de semilla, lo que podría estar indicando que el vigor se modifica cuando el color es diferente en las semillas, por ejemplo, cuando la coloración de semilla está influenciada por el proceso de beneficio.

LITERATURA CITADA

- Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Global environmental change* 16(3): 268-281.
- Aguilera, H., and Goldbach, H. 1980. Storage of coffee (*Coffea arabica* L.) seed. *Journal of Seed Technology* 5(2): 7-12.
- Alvarado, G., Moreno, L. G., and Cortina, H. 2002. Caracteres agronómicos y resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* de progenies de caturra x híbrido de timor. *Cenicafé* 53(1):7-24.
- Andrade, B. H. J. 1992. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 98 p.
- Aranda-Bezaury, J. G.; González-Bustamante, B.; Reyes-Santiago, T. s/f *Café Sustentable: Manual de buenas prácticas para la producción de café sustentable*. Alianza Mexicoredd. México, D. F. 120 p.
- Arcila Pulgarín, J., and Valencia Aristizabal, G. 1976. Enraizamiento de estacas de café (*Coffea arabica* L.). *Cenicafé (Colombia)* 27 (3): 135-139.
- ARCILA P., J. 2000. Fisiología del cafeto: crecimiento, desarrollo, floración y producción. Chinchiná, Cenicafé. 2000. 16 p.
- Arcila P., J., Farfán V., F., Moreno B., A., Salazar G., L. F. y Hincapié G., E. 2007. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Colombia: FNC-Cenicafé. 309 p.
- Arias, O., Echandi, R., Gutiérrez, G. 1981. Evaluación de la capacidad de conservación de seis cultivares de café. In: *Jornada de Investigación* (1., 1981, San José). Resúmenes San José. Costa Rica. Pp: 33-34.
- Aristizabal, C., y Duque, H. 2005. Caracterización del proceso de beneficio del café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Cenicafé* 56(4): 299-318.
- Aristizabal, L. M. y Álvarez, L. P. 2006. Los efectos del nivel de vigor de la semilla pueden persistir e influenciar el crecimiento de la planta, la uniformidad de la plantación y la productividad. *Agronomía* 14(1):17-24.
- Arizaleta, M., J. Montilla y J. Pares 2005. Efecto del Almacenamiento de las semillas de cafeto (*Coffea arabica* L.) var. Catuai amarillo). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 22:205-213.
- Astolfi, P.; Pedroso, P.; Carvalho, N.; Sader, R. 1981. *Maturação de sementes de café*. Científica, Jaboticabal 9(2): 289-294.
- ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarias. 2010 *Escenario actual del café*. SAGARPA. 16 p. <http://www.aserca.gob.mx/Paginas/default.aspx>.

- ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarias. 2010. Escenario actual del café. SAGARPA. 16 p.
- Basra, A. S. 2006. Handbook of Seed Science and Technology. Published by Food Products Press. Binghamton, New York, N. Y. 795 p.
- Barbosa, R., y J. Herrera 1990. El vigor en la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. *Agronomía Costarricense*. 14(1): 1-8.
- BASKIN. C.C. 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. & Technol.* 1:427-452.
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., and Charmetant, P. 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology* 26(9): 1239-1248.
- Bewley, J. D., and Black, M. 1982. Dormancy. In: *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 60-125.
- Bewley, J.D.; Black, M. 1982. *Physiology and Biochemistry of Seeds in relation to germination Viability, Dormancy and Environmental Control*. Vol. 2. Berlin, Springer-Verlag. 375 p.
- Bishaw, Z., Niane, A. A., and Gan, Y. 2007. Quality seed production. *In: Lentil* Springer, Dordrecht. Pp: 349-383.
- Botelho, F., T., Dellyzete, S. V., Franco da Rosa, Rodrigues, G., C., Rodrigues, G., L., Moreira de Carvalho, M., L., Vilas Boas, S. C., Marcelo, A., C., and Sales Ribeiro, F. A. 2020. Correlation between historical data of the germination test and of the tetrazolium test in coffee seeds by GAMLSS. *Seed Science and Technology* 48(2):179-188.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2009. Regras para análise de sementes.
- Bouharmont, P. 1971. La conservation des graines de caféier destinées a la multiplication au Cameroun. *Café, Cacao, Thé (Francia)* 15(3): 202-210.
- Brown, N. A. C., & Van Staden, J. 1975. The effect of temperature and various gases on the germination and endogenous hormone levels of seed of *Leucadendron daphnoides*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 75(1): 31-37.
- Calo M. and T. A. Wise (2005) *Revaluing Peasant Coffee Production: Organic and Fair Trade Markets in Mexico*. Global Development and Environment Institute. Tufts University. Medford, MA USA. 57 p.
- Camargo, M. B. P. D. 2010. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69(1): 239-247.

- Carballo, C., A. 1993. La calidad genética y su importancia en la producción de semillas. *In: Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México.* Mendoza, O. L. E., E. Fabela., P. Cano R y J. H. Separza M.(eds.). SOMEFI. Chapingo, México. Pp: 80-101.
- Carvajal H.J.J., Aristizábal T.I.D., Oliveros T.C.E., Mejía M.J.W. 2011. Colorimetría del fruto (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional Agronomía- Medellín* 64 (2): 6229-6240.
- Carvajal H.J.J., Aristizábal T.I.D. y Oliveros T.C.E. 2012. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Dyna* 73 (173): 116-124.
- Castillo Zapata, J. y G. Moreno Ruiz. 1988. "La variedad Colombia: selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia". En: Cenicafé. Chinchina, Caldas. Colombia. 171 p.
- Chandrasekar, V., & Viswanathan, R. 1999. Physical and thermal properties of coffee. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73 (3): 227-234.
- Côme, D. (1968). Relations entre l'oxygène et les phénomènes de dormance embryonnaire et d'inhibition tégumentaire. *Bull Soc Frane Physiol Veg* 14: 3145.
- Copeland L., O. y McDonald, M. B. 1995. *Principles of Seed Science and Technology.* Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Corbineau, F. (2012). Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research* 22(S1): S61-S68.
- Córdoba-Castro, N. A. N. C. Y., & Guerrero-Fajardo, J. E. 2016. Caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de café en el departamento de Nariño. *Biotecnología en el Sector agropecuario y agroindustrial* 14(2): 75-83.
- Crocker, W., & Davis, W. E. 1914. Delayed germination in seed of *Alisma plantago*. *Botanical gazette* 58(4): 285-321.
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., and Barros, R. S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 485-510.
- Da Silva, E.A.A. 2002. Coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination: mechanism and regulation. PhD Thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University.
- Daniel, I. O., K. A. Adeboye, O. O. Oduwaye, and J. Porbeni. 2012. Digital seed morphometric characterization of tropical maize inbred lines for cultivar discrimination, *International Journal of Plant Breeding and Genetics* 6(4): 245-251.
- Dedecca, D. M. (1957). Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. *Bragantia*, 16(UNICO): 315-366.

- Delouche, J. C. and Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. Technol.* 1:427-452.
- Dell'Aquila, A. (2006). Computerised seed imaging: a new tool to evaluate germination quality. *Commun. Biometry Crop Sci.* 1 (1), 20-31.
- Delouche, J. C. and Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. Technol.* 1:427-452.
- Delouche, J. C. and Caldwell, P. W. 1960. Seed vigor and vigor tests. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts.* 50(1):136-140.
- Dias, Mb.C.L; Silva, W.R. 1998. Teste de tetrazólio em sementes de café. Instituto Agbrônômico do Paraná - Londrina. Brasil.13 p.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales* 31(1):00-00. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es.
- Edwards, R. L. and Sundstrom, F. J. 1987. Afterripening and harvesting effects on Tabasco pepper seed germination performance. *Hortscience* 22:473–475.
- Eira, M.T.S.; Amaral da Silva, E.A.; De Castro, R.D.; Dussert, S.; Walters, C.; Derek Bewley, J.; Hilhorst, H.W.M. 2006. Coffee seed physiology. *Braz. J. Plant Physiol* 18 (1): 149-163.
- Escamilla P., E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos sociales en la calidad del grano orgánico en México. Tesis Doctoral Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. M. F. Altamirano. Veracruz. México. 254 p.
- Esashi, Y., Hata, Y., & Kato, H. 1975. Germination of cocklebur seeds: interactions between gibberellic acid, benzyladenine, thiourea, KNO₃ and gaseous factors. *Functional Plant Biology* 2(4): 569-579.
- Esashi, Y. and A. C. Leopold. 1968. Physical forces in dormancy and germination of *Xanthium* seeds. *Plant Physiol.* 43:871-876.
- Espinosa-Solares, T., Cruz-Castillo, J. G., Montesinos-López, O. A., and Hernández-Montes, A. 2005. Raw coffee processing yield affected more by cultivar than by harvest date. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 89(3-4): 169-180.
- Farrant, J.M., N.W. Pammenter y P. Berjak. 1993. Seed development in relation to desiccation tolerance: a comparison between desiccation sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation tolerant types. *Seed Sci. Res.* 3: 1-13.
- Flint-García, S. A.; Buckler, E. S.; Tiffin, P; Ersoz, E. and Springer, N. M. 2009. Heterosis is prevalent for multiple traits in diverse maize germplasm. *Plos One* 4:1-11.

- Floriano, E. 2004. Armazenamento de sementes florestais. ANORGS, Santa Rosa. 10 p
- França-Neto, J.B.; Krzyzanowski, F.C.; Costa, N.P. da. 1998. O teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. 72 p.
- Füssel, H. M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global environmental change* 17(2): 155-167.
- García-Rodríguez, J. J., Ávila-Perches, M. A., Gámez-Vázquez, F. P., and Gámez-Vázquez, A. J. 2018. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(1): 31-37.
- Gardner, F., Pearce, R., and Mitchell, R. L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. Ames. USA. 327 p.
- Gay, C.; Estrada, F.; Conde, C. y Eakin, H. 2004. Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México). *In: el clima entre el mar y la montaña*. García, C. J. C.; Liaño, C. D.; P. Fernández de Arróyabe, H. C.; Garmendia, P. y Rasilla, A. D. (eds.). Asoc. Esp. Climatol. y Univ. de Cantabria. Serie A. Núm. 4.
- Gentil, D.F.O. 2001. Conservação de sementes do cafeeiro: resultados discordantes ou complementares? *Bragantia* 60(3): 149-154.
- González, J. A. 1973. Germinación de la semilla de *Coffea arabica* var. Bourbon y Pacas almacenada en polietileno a distintas humedades. *SIADES (El Salvador)* v. 1 (4): 39-40; v. 2 (1): 16-22.
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E., & Andlauer, W. 2017. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilization for production of Cascara beverage. *Food Chemistry*, 221, 969- 975.
- Hein L. and F. Gatzweiler. 2005. The economic value of coffee (*Coffea arabica* L) genetic resources. *Ecological Economics* 60:176-185.
- Heydecker, W. (1972). Vigour. Syracuse University Press, 259-252.
- Hernández-Solabac, J. A. M., Nava-Tablada, M. E., Díaz-Cárdenas, S., Pérez-Portilla, E., y Escamilla-Prado, E. 2011. Migración internacional y manejo tecnológico del café en dos comunidades del centro de Veracruz. *Tropical and subtropical agroecosystems* 14(3): 807-818.
- Herrera, J., Alizaga, R., & Alizaga, G. 1993. Efecto de la madurez del fruto de café (*Coffea arabica* L.) cv. Caturra sobre la germinación y el vigor de las semillas. *Agronomía Costarricense* 17(1): 25-32.

- Huxley, P. A. (1964). Some factors which can regulate germination and influence viability of coffee seeds. In Proc. Intern. Seed Test Assoc. 29:33-60.
- Ikuma, H., & Thimann, K. V. 1963. The role of the seed-coats in germination of photosensitive lettuce seeds. Plant and Cell Physiology 4(2): 169-185.
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2014. Normas específicas de certificación de semillas. Bolivia. 5: 164 p.
- ISTA (Internacional Seed Testing Association). 2005. International rules for seed testing, rules. Zurich. Switzerland. 243 p.
- ISTA. (International Seed Testing Association). 2009. International Rules for Seed Testing. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2015. International Rules for Seed Testing. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- Joly, C. A. and G. M. Felipe. 1979. Dormencia das sementes de *Rapanea guianensis* Hubl. Rev. Brasil. Bot. 2:1-6.
- Kathurima C. W., B. M. Gichimu, G. M. Kenji, S. M. Muhoho and R. Boulanger. 2009. Evaluation of beverage quality and green bean physical characteristics of selected Arabica coffee genotypes in Kenya. African Journal of Food Science 3:365-371.
- Kozlowski, TT, 1972. Seed Biology. Germination Control, Metabolism and Pathology. Vol. 2. New York, Academic Press. 447 p.
- Läderach, P., Oberthür, T., Cook, S., Iza, M. E., Pohlan, J. A., Fisher, M., and Lechuga, R. R. 2011. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. Field Crops Research 120(3): 321-329.
- Leishman, MR, Wright, IJ, Moles, AT and Westoby, M 2000. The Evolutionary ecology of seed size. in M Fenner (ed.), Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. 2nd edn, CABI International, Oxon, UK, pp. 31-57.
- Linskens N. F., and Jackson, J. F. 1992. *Seed analysis* (p. 380) Springer-Verlag, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-01639-8>.
- López A. 2003. Las cinco principales plagas de Café (*Coffea arabica* L) en el estado de Chiapas. México. 125 p. https://www.researchgate.net/publication/264082924_Efecto_de_la_edafodiversidad_sobre_la_calidad_y_productividad_del_cafe_en_la_Sierra_Madre_del_Sur_Oaxaca.
- López, M. R., Díaz, P. G., and Martínez, R. J. 2007. Potencial productivo y tipología de productores de café en la zona centro del estado de Veracruz. México, DF: INIFAP. 25 p.

- Madueño-Molina, A., García-Paredes, D., Martínez-Hernández, J., Rubio-Torres, C., Navarrete-Valencia, A., & Bojórquez-Serrano, J. 2006. Germinación de semilla de frijolillo, *Rhynchosia minima* (L.) DC., luego de someterla a tratamientos pregerminativos. *Bioagro* 18(2): 101-105.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Marcos Filho, J. 1994. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. *Informativo Abrates* 4(2): 33-35.
- Marín S.M., Arcila J, Montoya E., Oliveros C. 2003b. Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé* 54(4): 297-315.
- Marín, S.M., J. Arcila, E. Montoya y C. Oliveros. 2003. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3): 208-225.
- MAPA. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária). 2009. Regras para análise de sementes. Brasil.
- MEA (Manuales para Educación Agropecuaria). 1983. Cultivo de Plantación. Área Producción Vegetal. Trillas. México. Pp: 25-40.
- McDonald, Jr. M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. *Seed Sci. Technol.* 13:601-628.
- McGuire R G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hort Science* 27:1254-1255.
- Moreno M., E. 1996. Análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. Instituto de Biología. UNAM. México. 339 p.
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45-58.
- Nichols, M. y Christie, B. 1999. Característica y manejo de las semillas. *Agricultura de las América* 4:8-17.
- Ortuño, V. 1980. Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la viabilidad y vigor de la semilla de café (*Coffea arabica* L.). Effect of storage condition on coffee (*Coffea arabica*) seed viability and vigor. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)* 4(2): 149-154.
- Ortuño, F. 1982. Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la viabilidad y el vigor de la semilla de café (*Coffea arabica* L.). Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 43 p.

- Perez, A., & Rosero, D. 2012. Procesos de aseguramiento de calidad en la producción y Comercialización de café la Jacoba en el municipio de la Unión Departamento de Nariño 42 p.
- Pérez-Portilla, E., and Geissert-Kientz, D. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.)-Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia* 31(8): 556-562.
- Phartyal, S.S.;Thapliyal, R.C.;Nayal, J.S.;Joshi, G. 2003. Assessment of viability of *Acer caesium* and *Ulmus wallichiana* seeds through the tetrazolium test. *Seed Science and Technology*, 31: 691-700. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.18>.
- Puente, P. C., & Bustamante, G. L. 1991. Efecto del estado de madurez y posmaduración del fruto de chile (*Capsicum annuum* L.) sobre la calidad de su semilla. *In: Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A. C. IV Congreso Nacional*. Saltillo, Coahuila, México. 187 p.
- Poltonieri, P., Rossi, F. 2016. Desafíos en el procesamiento de café especial y aseguramiento de la calidad. Universidad de Verona, Italia. Disponible en línea: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/retos-en-el-procesamiento-y-aseguramientode-calidad-de-cafes-especiales>.
- Poisson, J. 1979. Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert. *In 8. Colloque Scientifique International sur le Café 28 Nov-3 Dic 1977) Abidjan (Costa de Marfil)* (No. 633.73063 C714 1977). Association Scientifique Internationale du Café. París (Francia).
- Popinigis, F. 1977. Fisiología de Semientes. Ministeria de Agricultura. AGIPLAN, Brasilia Brasil. Pp: 157-233.
- Popinigis, F. Fisiología da semente. 1985. 2ª ed. Brasilia. 289 p.
- Puerta Q., G. I. 2000. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Cenicafé* 51(2): 136-150.
- Quintero, H. 1968. Determinación del poder germinativo de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Borbón) bajo diferentes pruebas. (Tesis: Ingeniero Agrónomo). Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía. Manizales, Colombia. 41 pp.
- Rao, N.K., J. Hanson, M.E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Larinde. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Bioversity International, Roma, Italia. 31 p.
- Randle, W. M. and Honma, S. 1981. Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae* 14:19-25.
- Rincón. S.O. (1982). Manual para el cultivo del café. Manual Práctico. 3ª edición. Bogotá-Colombia.

- Roberts, E.H. 1972. Viability of Seeds. Loodoo, Chapman and Hall. 448 (La saqué de este artículo) http://infoagro.go.cr/rev_agr/v17n01_025.pdf
- Rodríguez, W., and Leme, M. C. 1985. Interferencia de teor de umidade das sementes de café na manten; ao de sua qualidade fisiológica. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 20: 545-550.
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Dávila, M. T., and Rodríguez, N. 1999. Beneficio ecológico del café. Cenicafé. 300 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).2017.
http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_00264_03.aspx.
- Samper K. M. 1999. Trayectoria y viabilidad de la Caficultura Centroamericanas. In: B.Bertrand y B. Rapidel (eds.). Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. IICA. PROMECAFE. CIRAD. IRD. CCCR. Francia. Costa Rica. Pp: 1-68.
- Sanabria¹, D., Silva-Acuña, R., Oliveros, M., and Manrique, U. 2004. Germinación de semillas de las leguminosas arbustivas forrajeras *Cratylia argentea* y *Cassia moschata* sometidas a inmersión en ácido sulfúrico. Bioagro 16(3): 225-230.
- Santos, M.A.O., Novembre, A.D.L.C. and Marcos-Filho, J. 2007. Tetrazolium test to assess viability and vigor of tomato seeds. Seed Science and Technology 35: 213-223.
- Santoyo C., V. H., S. Díaz C., E. Escamilla P., y J. D Robledo M., 1996. Factores Agronómicos y Calidad del Café. Universidad Autónoma Chapingo. Confederación de Productores de Café. Chapingo, México. 21 p.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System, SAS/STAT®. User Guide: Statistics Version 9.0, Cary, NC, USA. 956 p.
- Schwartz, M. D. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. International Journal of Biometeorology 42(3): 113-118.
- Scheibe, J., & Lang, A. 1965. Lettuce seed germination: evidence for a reversible light-induced increase in growth potential and for phytochrome mediation of the low temperature effect. Plant Physiology 40(3): 485.
- SIAP. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Avance de Siembras y Cosechas, Resumen por estado.
- Sierra G., F. 1988. Evaluación de la pérdida de calidad de la semilla de café, variedad Caturra Durante su beneficio. Tesis: Ingeniería Agrícola. Cali Universidad del Valle. 155 p.
- Sierra G, F., Fernández Q, A., Roa M, G., and Arcila P, J. 1990. Evaluation of the loss of coffee seed quality during processing. Cenicafe 41(3): 69-79.

- Solomon, E.; Berg, K.; D. Martín, D. 2001. *Biología*. 5^{ta} Edición. McGraw-Hill Interamericana, México. 1237 p.
- Solórzano, E. V. 2007. *Guías Fenológicas para Cultivos Básicos*. 1ra Ed. Editorial Trillas. México, D. F. 152 p.
- Steiger, D., Nagai, C., Moore, P., Morden, C., Osgood, R., and Ming, R. 2002. AFLP analysis of genetic diversity within and among *Coffea arabica* L cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 105 (2-3): 209-215.
- TeKrony, Dennis M. 2005. Accelerated Aging Test: Principles and Procedures. *Seed Technology* 27 (1): 135-146.
- Tillmann, M. A. A., V. D. C. de Mello e G. R. M. Rota 2003 Análise de sementes. *In: Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. T. S. Peske, M. D. Rosenthal e G. R. M. Rota Editora Rua. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Pp: 138-223.
- Torres, M, B.; Coutiño, E. B.; Muñoz, O. A.; Santacruz, Várela, A.; Mejía, C. A.; Serna, S.; García, L. S. y Palacios, R. N. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia* 44: 679-689.
- Torres Lima, P., Cruz Castillo, J. G., y Acosta Barradas, R. 2011. Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático: Agendas de adaptación y sistemas institucionales. *Política y cultura* 36: 205-232.
- Urbaneja S.; Quijada, M. 2006. Evaluación de diferentes tratamientos en pregerminación de café para la obtención de plántulas. Proyecto de Investigación Rubro Café. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Caripe, estado Monagas, Venezuela. 38 p.
- USDA-FAS. Brazil, Coffee anual 2019. GAIN Report No. BR19006. 5/16/2019.
- USDA-FAS. Coffee: World Markets and Trade. 2019/20 Forecast Overview. December 2019.
- Valencia, A. 1970. Tratamientos para acelerar la germinación de la semilla de café. *Revista Cafetera de Colombia (Colombia)* 19(146): 55-59.
- Valio, I. F. M. 1980. Inhibition of germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo) by the endocarp. *Journal of Seed Technology* 32-39.
- Valio, I. F. M. (1976). Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). *Journal of Experimental Botany* 27(5): 983-991.
- Van der Vossen HAM (1979) Methods of preserving the viability of coffee seed in storage. *Seed Sci. and Technol.* 7:65–74.

- Varangis P., P. Siegel, D. Giovanucci y B. Lewin (2002) Región Centroamericana. La Crisis Cafetalera: Efectos y Estrategias para Hacerle Frente. World Bank Policy Research Working Paper. Informe 2993. Pp: 11-12.
- Velasco, J. R. and J. Gutierrez. 1974. Germination and its inhibition in coffee. *Philippine J. Sei.* 103:1-11.
- Villalpando, J. y A. Ruiz. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. 133 p.
- Villaflor, A. 1987. Caficultura Moderna en México. Primera Edición. Agro comunicación, Sáenz Colín y asociados. Texcoco, México. Pp: 327-340.
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., & Hernández, J. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia* 34(5): 322-329.
- Vincent, J. C. 1968. Influencia de la maturite des fruits sur la qualite du café robusta. *Café, Cacao, Thé (Francia)* 12 (3): 240-249.
- Volpe, CA. 1992. Citrus Phenology. *In: Proceedings of the Second International Seminar on Cítrus Physiology* Pp: 103-122.
- Wintgens, J. N. 2004. Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Wintgens, J. N. 2004. Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Weinheim, Germany. Wiley-VCH. 975 p.
- Zamarripa C. A. y E. Escamilla P. 2016. Variedades de café en México. Origen, Características y perspectivas. SAGARPA. COFUPRO. CENACAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. ISBN: 978-607-8445-59-2. 43 p.
- Zuluaga Vasco, J. 1990. Los factores que determinan la calidad del café verde (No. 633.739861 C574). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchiná (Colombia). Centro Nacional de Investigaciones de Café. Pp.167-183.