

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**Determinación de la calidad de semillas de café (*Coffea arabica* L.) de dos cultivares
provenientes de campos certificados de diferentes zonas cafetaleras de Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Tesis, sometido a consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Agronómica, con énfasis en Agro Negocios.

Estudiantes:

Bach. Allan Guillermo Bolaños Zúñiga

Bach. Jorge Eduardo Valverde Ilama

Tutor

Andrés Antonio Monge Vargas, Ph.D.

Asesores

Lic. Michael González Arce

Ramón Molina Bravo, Ph.D.

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica

Noviembre, 2024

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Dr. Alejandro Zamora Meléndez

Representante de la Decana de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Oswaldo Páez Aponte M. Sc.
Representante del director de la
Escuela de Ciencias Agrarias

Andrés Antonio Monge Vargas, Ph.D.
Tutor de tesis

Lic. Michael González Arce
Asesor de tesis

Ramón Molina Bravo, Ph.D.
Asesor de tesis

Bach. Allan Guillermo Bolaños Zúñiga
Postulante

Bach. Jorge Eduardo Valverde Ilama
Postulante

Dedicatoria

Jorge y Allan

Primero a Dios por permitirnos realizar este proceso del trabajo final de graduación.

A las familias que nos acompañaron y apoyaron en este trabajo.

Al compañero de tesis que en los altos y bajos hemos sacado esta tarea.

Agradecimientos

Allan y Jorge

Primero a Dios por permitirnos realizar este proceso del trabajo final de graduación.

Al personal y compañeros del beneficio experimental del ICAFE en especial a Luis Fernando Zamora Álvarez, Olman Ruiz Marín y Mauricio López Zumbado. En especial al compañero Carlos Acuña.

Al personal del CIGRAS (Centro para Investigaciones en Granos y Semillas) en especial a Guillermo y Verónica por acompañarnos en este proceso en el laboratorio.

Al equipo asesor a Andrés y a Michael que nos acompañaron y sus consejos en este proceso de tesis, su amistad y consejos de vida.

Resumen

La calidad de la semilla es de gran importancia para los sistemas de producción agrícolas debido a que darán origen a las nuevas plantaciones, como los futuros cafetales, por lo que se debe garantizar la uniformidad en la germinación y el vigor de las plantas en el campo. Por esto el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de semilla de café (*Coffea arabica* L.) de dos cultivares provenientes de campos certificados de cuatro zonas cafetaleras, mediante análisis físicos de la semilla, pruebas de germinación y emergencia de plántulas. Se caracterizaron las diferentes zonas de donde provenían los lotes de la semilla certificada de la cosecha 2023-2024, por medio de estaciones meteorológicas que brindaron registro de diferentes variables climáticas, como lo son temperatura, precipitación y radiación solar en el periodo de 2018 al 2023. Además, se caracterizó el suelo de cada una de las fincas. Los lotes obtuvieron valores de pureza física superiores a 99.00% y semillas de tipo normal del 77.00% a 90,75% entre los distintos tratamientos. El cultivar Catiguá MG2 fue el que presentó un porcentaje de germinación y emergencia de plántulas superior en comparación con el cultivar IAC Obatá 1669-20 en las zonas de Valle Central y Pérez Zeledón, lo que evidencia diferencias de calidad según procedencia y cultivar, sin embargo, se necesita más investigaciones que ayuden a determinar cuál es la mejor zona para la producción de semilla certificada de estos dos cultivares. En cuanto a las variables climáticas entre los años 2018 al 2023 se presentó una variabilidad climática donde se presentaron las dos estaciones variando entre los meses dependiendo de la zona. Los distintos ordenes de suelos encontrados en el estudio son aptos para el cultivo de café.

Palabras clave: Catiguá MG2, Clima, Germinación, IAC Obatá 1669-20, Suelo.

Abstract

The seed quality is of great importance because it is the origin of the plant that will be used in future coffee plantations; therefore, uniformity and vigor must be guaranteed. The objective of this investigation was to determine the quality of the coffee seeds (*Coffea arabica* L.) of two cultivars from certified fields in four different coffee regions, through the physical analysis of the seed, germination tests and seedlings growth. The regions where the certified seed batch from the harvest 2023-2024 came from, were characterized in accordance with the data registered via meteorological stations who provided the different climatic variables such as temperature, rainfall and solar radiation from the years 2018 through 2023, accompanied by the characterization of the soil present in each of the coffee plantation. The certified seed batches obtained values of physical purity above 99.00% in each of the treatments, while the normal seeds reached values between the 77.00% to 90.75%. The cultivar Catigua MG2 resulted with the highest percentage of germination and growth in comparison with cultivar IAC Obata 1669-20 in the Central Valley and Perez Zeledon regions; these results obtained, show a difference in terms of quality of the seed, depending on the cultivar and its origin, but still more investigation is necessary to determine which region produces the best certified seed of this two cultivars. As to climatic variables from the years 2018 through 2023, there was climatic variability where the two seasons occurred, varying between the months depending on the area. The different soil orders found in the study are suitable for coffee cultivation.

Keywords: Catigua MG2, Climated, Germination, IAC Obata 1669-20, Soil.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 EL CAFÉ	3
3.2 DESCRIPCIÓN DE CULTIVARES A INVESTIGAR.....	5
3.2.1 Cultivar Catiguá MG2	5
3.2.2 Cultivar IAC Obatá 1669-20 (Obatá rojo).....	5
3.3 IMPORTANCIA DE LA SEMILLA Y SU CALIDAD.....	6
3.3.1 Calidad genética	7
3.3.2 Calidad física.....	7
3.3.3 Calidad fisiológica.....	7
3.3.4 Viabilidad y germinación de las semillas	8
3.3.5 Vigor de semillas.....	8
3.4 PROCESO DE CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS EN COSTA RICA.....	9
3.4.1 Importancia del uso de semilla certificada.....	9
3.5 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA CALIDAD DE SEMILLA POR ZONA	10
3.6. REGIONES CAFETALERAS DE COSTA RICA	11
3.6.1 REGIÓN BRUNCA	11
3.6.2 REGIÓN VALLE CENTRAL	12
3.6.3 REGIÓN VALLE OCCIDENTAL	12
4. METODOLOGÍA	12
4.1 TRATAMIENTOS	13
4.2 Caracterización edafoclimáticas de las zonas de estudio	18
4.3 MANEJO AGRONÓMICO DE LOS LOTES CERTIFICADOS PARA SEMILLA, COSECHA 2023-2024.....	18
4.4 Procesamiento de las semillas.....	19
4.4.1 Determinación de la humedad.....	20
4.4.2 Determinación de la pureza física.....	21
4.4.3 Tipo de semilla predominante por lote	21
4.4.4 Estimación del peso de mil semillas	22
4.5 Pruebas de germinación	22
4.5.1 Prueba de emergencia de plántula en invernadero.....	24
4.5.2 Longitud de plántulas y de raíz.....	25
4.5.3 Peso seco de plántulas (parte aérea y raíz).....	25
4.6 Análisis estadístico.....	26
5. Resultados	27
5.1. PROCESAMIENTO DE SEMILLA	27
5.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE SEMILLA CERTIFICADA DE LA COSECHA 2023-2024	28

5.2.1 Finca Cafetalera el Arrempujón S.A	28
5.2.2 Finca Cloza.....	29
5.2.3 Finca La Palmira.....	31
5.2.4 Finca ICAFE.....	32
5.3. ZONAS DE VIDA	34
5.4 DATOS CLIMÁTICOS DE LAS DIFERENTES ZONAS EN ESTUDIO	35
5.4.1 Zona de Coto Brus	35
5.4.2 Zona de Valle Occidente.....	37
5.4.3 Zona de Pérez Zeledón.....	39
5.4.4 Zona Valle Central.....	41
5.5 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD	44
5.6 DETERMINACIÓN DE LA PUREZA FÍSICA	44
5.6.1 Material de descarte	44
5.7 TIPO DE SEMILLA PREDOMINANTE POR LOTE.....	45
5.7.1 Semilla normal.....	45
5.7.2 Semilla caracolillo.....	46
5.7.3 Semilla sin pergamino.....	47
5.7.4 Semilla con pergamino dañado	48
5.7.5 Semilla bellota	49
5.8 PESO DE MIL SEMILLAS	50
5.9 PRUEBA DE GERMINACIÓN	51
5.9.1 Plántulas anormales	52
5.9.2 Semilla no germinada	53
5.9.3 Semillas muertas	54
5.10 PRUEBA DE EMERGENCIA DE PLÁNTULAS EN INVERNADERO.....	54
5.11 LONGITUD DE PLÁNTULAS Y RAÍZ	55
5.12 PESO SECO DE PLÁNTULAS (PARTE AÉREA Y RAÍZ)	56
6. Discusión.....	58
6.1 PROCESAMIENTO DE LAS SEMILLAS	58
6.2 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LAS FINCAS PRODUCTORAS DE LA SEMILLA COSECHA 2023-2024	59
6.5 DATOS CLIMÁTICOS DE LAS DIFERENTES ZONAS EN ESTUDIO.....	62
6.7 DETERMINACIÓN DE LA PUREZA FÍSICA	63
6.8 TIPO DE SEMILLA PREDOMINANTE EN EL LOTE	63
6.9 PESO DE MIL SEMILLAS	64
6.10 PRUEBA DE GERMINACIÓN	64
6.10.1 Plántulas anormales	65
6.10.2 Semilla no germinada o dura.....	65
6.10.3 Semilla muerta	66
6.11 PRUEBA DE EMERGENCIA DE PLÁNTULAS EN INVERNADERO	66
6.12 LONGITUD DE PLÁNTULAS Y RAÍZ	67
6.13 PESO SECO DE PLÁNTULAS (PARTE AÉREA Y RAÍZ)	67
6.13.1 Parte aérea.....	67
6.13.2 Peso seco raíz	68

7. Conclusiones	68
8. Recomendaciones.....	69
9. Referencias Bibliográfica.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos para evaluar la calidad de las semillas de café (<i>Coffea arabica</i> L.) de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, provenientes de las regiones Brunca, Valle Occidental, Valle Central.	14
Tabla 2. Datos de las fincas donde se encuentran los lotes certificados para semilla.	15
Tabla 3. Clasificación de plántulas normales, plántulas anormales, semillas duras y semillas muertas, según la RAS (MAPA, 2009), en pruebas de germinación de semillas de café realizadas en CIGRAS, UCR.	23
Tabla 4. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A, Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.	28
Tabla 5. Propiedades químicas de suelo en la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica, según metodología de extracción en KCL-Olsen.	29
Tabla 6. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.	29
Tabla 7. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica.	30
Tabla 8. Propiedades químicas de suelo en la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica según metodología de extracción en KCL-Olsen.	30
Tabla 9. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica.	31
Tabla 10. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca la Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.	31
Tabla 11. Propiedades químicas de suelo en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, según metodología de extracción en KCL-Olsen.	32
Tabla 12. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.	32
Tabla 13. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica.	33
Tabla 14. Propiedades químicas de suelo en la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica. según metodología de extracción en KCL-Olsen.	34
Tabla 15. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Corte transversal de un grano de café (Gélvez, 2023).</i>	4
Figura 2. Representación de la Finca Cafetalera el Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica,.....	16
Figura 3. Representación de la Finca Cloza., Naranjo, Alajuela, Costa Rica.	16
Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 4. Representación de la Finca La Palmira., Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.	17
Figura 5. Representación de la Finca ICAFE., Barva, Heredia, Costa Rica.	17
Figura 6. <i>Estado de maduración óptima de la fruta de café.</i>	20
Figura 7. <i>Tipos de semillas según Silva (2003): Semillas chatas o normales (CH). Semillas mocas o caracol (MO). Semillas sin pergamino (SP). Semillas con pergamino dañado (PD). Semillas con cáscaras o bellota (CC).</i>	21
Figura 8. <i>Estadio fenológico “fósforo” de plántulas de café, ICAFE, Costa Rica.</i>	25
Figura 9. <i>Precipitación semanal promedio en la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.</i>	36
Figura 10. <i>Temperatura semanal promedio en la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.</i>	36
Figura 11. <i>Radiación solar semanal promedio en la zona de Coto Brus entre los años 2018 al 2023.</i>	37
Figura 12. <i>Precipitación semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.</i>	38
Figura 13. <i>Temperatura semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.</i>	38
Figura 14. <i>Radiación solar semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.</i>	39
Figura 15. <i>Precipitación semanal promedio en la zona Pérez Zeledón entre los años 2018 al 2023.</i>	40
Figura 16. <i>Temperatura semanal promedio en la zona Pérez Zeledón entre los años 2018 al 2023.</i>	40
Figura 17. <i>Radiación solar semanal promedio en la zona de Bonita, Sinaí, San Isidro del General entre los años 2018 al 2023.</i>	41
Figura 18. <i>Precipitación semanal promedio en la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.</i>	42
Figura 19. <i>Temperatura semanal promedio de la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.</i>	43
Figura 20. <i>Radiación solar semanal promedio en la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.</i>	43

Figura 21. <i>Porcentaje de la fracción de semilla pura determinada en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica</i>	44
Figura 22. <i>Porcentaje de material de descarte en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	45
Figura 23. <i>Porcentaje de semilla normal en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	46
Figura 24. <i>Porcentaje de semilla caracolillo en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	47
Figura 25. <i>Porcentaje de semilla sin pergamino en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	48
Figura 26. <i>Porcentaje de semilla con pergamino dañado en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	49
Figura 27. <i>Porcentaje de semilla bellota a en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	50
Figura 28. <i>Peso de mil semillas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	51
Figura 29. <i>Porcentaje de germinación en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	52
Figura 30. <i>Porcentaje de plántulas anormales en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	53
Figura 31. <i>Porcentaje de semillas no germinadas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente Costa Rica.</i>	53
Figura 32. <i>Porcentaje de semillas muertas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	54
Figura 33. <i>Porcentaje de emergencia en invernadero en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	55

Figura 34. <i>Altura de plántulas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	56
Figura 35. <i>Peso seco de plántulas parte aérea en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	57
Figura 36. <i>Peso seco de raíz en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.</i>	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de fruta en campo según la norma técnica de producción de semillas de Café de la Oficina Nacional de Semillas (ONS, 2011).	81
Anexo 2. Conversión de café fruta a café pergamino seco.	83
Anexo 3. Muestreo con barreo en la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica, 2024.	85
Anexo 4. Muestreo con barreno en la Finca Cloza, Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2024.	85
Anexo 5. Muestreo con barreno y calicata en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, 2024.....	86
Anexo 6. Muestreo con barreo en la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica, 2024.	86
Anexo 7. Resultados de nutrientes requeridos según la producción de cada lote, cosecha 2023-2024, de acuerdo con programa Interpretador V8 del ICAFE.	87
Anexo 8. Datos de distancia de siembra y sombra de cada finca donde se encuentran los lotes de semilla.	87
Anexo 9. Datos de producción de ff/ha de los cultivares en las fincas de la cosecha 2022-2023.	88
Anexo 10. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.	88
Anexo 11. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.....	89
Anexo 12. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m ²) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.....	89
Anexo 13. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.....	89
Anexo 14. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.....	90
Anexo 15. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m ²) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.....	90
Anexo 16. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Pérez Zeledón de los años 2018 al 2023.	91
Anexo 17. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Pérez Zeledón de los años 2018 al 2023.....	91
Anexo 18. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m ²) semanal de la zona de Pérez Zeledón de los años 2018 al 2023.	91
Anexo 19. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona Valle Central de los años 2018 al 2023.	92

Anexo 20. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Valle Central de los años 2018 al 2023.	92
Anexo 21. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m ²) semanal de la zona Valle Central de los años 2018 al 2023.	93
Anexo 22. Porcentaje de humedad de la semilla de café utilizada en los tratamientos de este estudio.	93
Anexo 23. Cultivar IAC Obatá 1669-20 en Finca El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.....	95
Anexo 24. Cultivar Catiguá MG2 en Finca El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.	96
Anexo 25. Cosecha de semilla IAC Obatá 1669-20 en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.	96
Anexo 26. Almacenamiento en la bodega del ICAFE de semilla proveniente de los lotes para semilla certificada.	97
Anexo 27. Análisis de datos con el programa estadístico R estudio de los resultados de Anova.....	97

1.INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos que más se comercializan en el mundo, que impacta a millones de personas de manera directa o indirecta, por su producción y venta. Según la Organización Internacional del Café (OIC, 2022), la producción mundial para la cosecha 2021/2022 alcanzó la cifra de los 167.2 millones de sacos de 60 kg, y para la cosecha 2022/2023 el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE, 2023) reportó la cantidad de 172.9 millones de sacos, repartidos entre la producción de las especies arábica y robusta.

La especie de mayor producción mundial es *Coffea arabica* L. y de acuerdo con el ICAFE (2022) representó el 58.00% de la producción para el año 2022. Esto se debió en gran parte a sus cotizaciones más altas en el mercado internacional y a su mejor calidad de taza. Cabe destacar que el café arábico juega un papel fundamental en la economía de diversos países productores de este grano. Castro y Barrezueta (2020) detallan que este tipo de café se cultiva en más de 56 países y desempeña un papel fundamental en la economía de estas naciones en África, Asia y América Latina, particularmente beneficiando a las familias de pequeños y medianos productores.

En 2022, Costa Rica ocupó a nivel mundial el décimo tercer lugar en la lista de los principales productores de este grano. El ICAFE informó que para la cosecha 2021-2022 se obtuvo una producción de 1,672,510 fanegas y la producción para la cosecha 2022-2023 alcanzó la cantidad de 1,914,920 fanegas, se estima para la cosecha 2023-2024 una producción de 1,911,730 fanegas. Además, los datos más recientes indican que el café representa un 4.64% del PIB agrícola, y un 0.14% del PIB nacional ICAFE (2023).

Para los almácigos, es de suma importancia la calidad de la semilla que se va a utilizar para la siembra. Atributos como la pureza genética, viabilidad (germinación), vigor, sanidad, porcentaje de humedad, tamaño y forma de las semillas y homogeneidad del lote, son factores que influyen en la capacidad germinativa y el desarrollo ideal de una planta, aún en condiciones de campo desfavorables (Filho, 2015).

Según Negrín et al. (2021), se deben obtener almácigos provenientes de semillas de plantas vigorosas que presenten un buen desarrollo en campo y alta productividad (en condiciones favorables pueda desarrollar todo el potencial genético con el que cuenta el cultivar). Para alcanzar

estos estándares, se pueden lograr mediante el uso de semilla certificada, que gracias a su sistema de control de calidad permite asegurar y obtener un alto grado de germinación y pureza varietal.

En Costa Rica, es de suma importancia llevar a cabo estudios sobre la calidad de las semillas de café previo a la propagación. Esto para poder entregar un producto de calidad reconocida al productor nacional que garantice alta germinación, asegure el buen rendimiento del cultivo y calidad de taza (Lazo, 2020).

El ICAFE (2015) en su documentación de la historia de la caficultura nacional ha establecido ocho regiones cafetaleras en el país (Brunca, Turrialba, Tres Ríos, Orosi, Tarrazú, Valle Central, Valle Occidental y Guanacaste). Asimismo, la semilla certificada proviene principalmente de las zonas Brunca, Valle Central y Valle Occidental. Sin embargo, no hay estudios recientes que indiquen la calidad de la semilla producida en estas regiones.

A nivel internacional, se han llevado a cabo estudios comparativos sobre la calidad de las semillas de café en diversas variedades y regiones específicas. Por ejemplo, Silva (2003) concluyó que la selección de semillas de café y el tamaño del grano tienen un impacto significativo en la germinación, sin importar la variedad. Además, Castanheira (2016) llevó a cabo una investigación que demostró la posibilidad de separar las semillas de café mediante diversas técnicas y correlacionarlas con la germinación para seleccionar la zona ideal de producción de semillas.

Costa Rica cuenta con una normativa e institución encargada de velar por el cumplimiento para la producción y propagación de semilla certificada, que cumpla con estándares de calidad como lo es la Oficina Nacional de Semilla (ONS) el cual tiene un reglamento específico para café que data del año 2011. A pesar de la importancia del cultivo y la necesidad de utilizar semillas de alta calidad para producir los almácigos, actualmente en Costa Rica no se cuenta con un estudio comparativo que indique el grado de la calidad de las semillas producidas en las diferentes regiones cafetaleras. La identificación de las zonas idóneas para la producción de semillas de café en nuestro país es fundamental para enfatizar su producción en esas regiones específicas y mejorar la calidad de la semilla ofrecida al productor.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de las semillas de café de las variedades Catiguá y Obatá, producidas en lotes certificados de cuatro zonas cafetaleras, por medio

de atributos físicos como el peso, porcentaje de humedad, tamaño y propiedades fisiológicas como el porcentaje de germinación en laboratorio y el vigor de plántulas en invernadero y relacionar estos resultados con las características climáticas, edáficas y de producción de cada zona.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad de semilla de café (*Coffea arabica* L.) de dos cultivares provenientes de campos certificados de cuatro zonas cafetaleras de Costa Rica, por medio de análisis físicos y fisiológicos, para relacionar la influencia de la zona sobre la calidad de semilla de ambos cultivares.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar cuatro zonas productoras de semilla certificada de café en Costa Rica, mediante calicatas de suelo, estaciones meteorológicas y el uso de registros de bases de datos para describir las propiedades edáficas, climáticas y de producción de cada zona.

Evaluar en laboratorio la calidad física de semilla, de lotes de café certificados por medio de la humedad, pureza física, tipo de semilla predominante y peso de mil semillas con el fin de comparar la influencia de cada zona sobre la calidad de la semilla producida por los cultivares.

Determinar la calidad fisiológica de la semilla de café, de lotes certificados, por medio de la prueba de germinación y ensayos de vigor de plántulas, para verificar el comportamiento de la semilla producida según la zona de origen.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El café

El café en su morfología es un arbusto de porte alto proveniente del continente africano, hace parte del complejo botánico de la zona intertropical de dicho continente denominado rubiáceas, los cuales en su mayoría son arbustos y árboles tropicales, en donde el género *Coffea* es el de mayor importancia comercial. Las especies de mayor relevancia económica en este género son *Coffea arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*, las cuales se caracterizan por ser leñosas y con hojas de color amarillento, verde oscuro, bronce o matizado en púrpura (Angulo, 2021).

Para comprender de donde proviene la formación de la semilla café, Pincay (2022) informa que proviene de un fruto denominado como una drupa, el cual es de superficie lisa y brillante que al madurar se torna de color rojo o amarillo. Según la variedad de café, generalmente cada fruto contiene dos semillas, pero en algunas ocasiones solo un óvulo se fecunda y se desarrolla una sola semilla de forma redonda, que se le conoce como caracolillo.

En la semilla de café podemos encontrar dos partes principales, el endospermo y el embrión. Define Santamaría (2022) que el primero es un tejido vivo conformado por una región externa muy dura y una región interna blanda que rodea al embrión. Este otro por su parte es muy pequeño, mide entre 3.00 y 4.00 mm de largo, lo conforma un eje y dos cotiledones cordiformes adherentes y está localizado cerca de la superficie convexa de la semilla, contiene pocas reservas acumuladas y depende de los nutrientes del endospermo.

Morfológicamente la semilla de café es de forma semicircular de color verdoso, está constituida por un albumen corneo y sus tejidos contienen almidón, azúcares, sacarosa, taninos y cafeína. Las medidas de la semilla pueden ir de los 8.50 a 12.20 mm. Santamaría (2022) indica que presenta un plano convexo y un surco longitudinal en la superficie plana y una capa exterior, la cual corresponde al endocarpio, que es una cubierta de color marrón pálido y de consistencia dura que se convierte en el pergamino al momento del secado. También en términos generales se considera que las semillas de café poseen una germinación lenta y asincrónica (Coa et al., 2014).

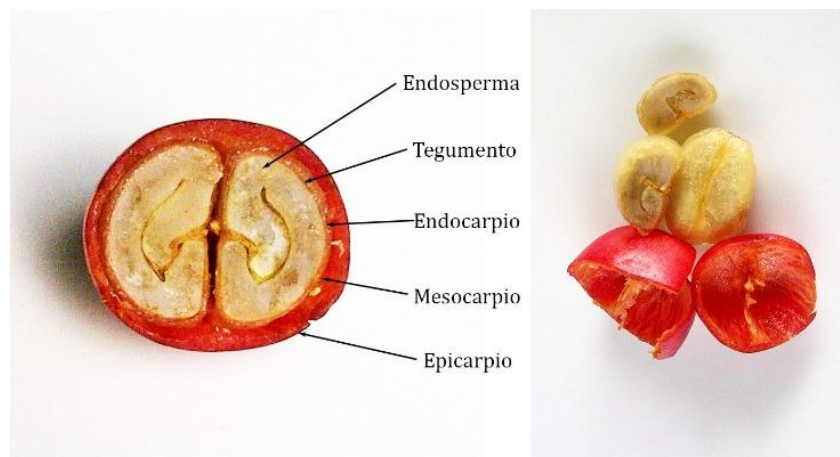


Figura 1. Corte transversal de un grano de café (Gélvez, 2023).

3.2 Descripción de cultivares a investigar

3.2.1 Cultivar Catiguá MG2

Es necesario conocer las características de la variedad de café que vamos a estudiar, en este caso la variedad Catiguá MG2 tiene amplia capacidad de adaptación, tolera déficits hídricos moderados y sus frutos están bien adheridos a la planta lo que disminuye las pérdidas por caídas (Siqueira et al., 2022).

Según Siqueira et al. (2022), este cultivar es producto del cruzamiento entre Catuaí amarillo IAC 86 y un híbrido de Timor UFV 440-10. Es de porte bajo con un diámetro de copa medio y una coloración de brotes bronce y hojas verdes. La maduración es entre mediana y tardía, fruto de color rojo, con un tamaño de grano pequeño. Posee resistencia a *Pseudomonas*, roya, araña roja y es susceptible a nematodos. Presenta un vigor vegetativo alto, productividad media y una calidad de taza alta o diferenciada por lo que es recomendado para cafés de especialidad.

En Costa Rica esta variedad fue introducida de Brasil por el ICAFE en el año 2008 y establecieron ensayos para sus características agro productivas (Ramírez, 2015).

El registro de este cultivar ante la ONS según el Ingeniero Solís encargado de los registros, data del año 2017 y su vencimiento fue en el 2022, sin embargo, no se tramitó la renovación por parte del ICAFE, quien fue el ente que presentó el registro (C. Solís, comunicación personal, 27 de noviembre del 2024). A pesar de no encontrarse en la plataforma de la ONS se sigue trabajando en forma conjunta y certificando la semilla para venta.

3.2.2 Cultivar IAC Obatá 1669-20 (Obatá rojo)

El cultivar de café Obatá rojo fue desarrollado en el Centro de Investigación de la Roca del Café (CIFC), ubicado en Oeiras, Portugal. Según Siqueira (2008), fue desarrollado a partir de un cruzamiento entre Villa Sarchí y el Híbrido de Timor CIFC 832/2, hecho por el CIFC. Un tiempo después la descendencia F² se introdujo en Brasil para la evaluación de la progenie por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC).

Las principales características de la variedad de café Obatá rojo, las describe Siqueira (2008) como de porte bajo y diámetro de copa medio, los brotes son de color verde, hojas grandes anchas

con bordes ligeramente ondulados, posee alta capacidad de emitir ramas secundarias, fruto de maduración de color rojo y tamaño grande, con una época de maduración tardía, presenta resistencia a roya y susceptibilidad a nematodos. Presenta un vigor vegetativo alto, calidad de taza regular y alta productividad. Es un material exigente en nutrición y debe ser plantado en alta densidad y se recomienda riego.

Se encuentra registrado ante la ONS por el ICAFE a partir del 2013, a pesar de que la institución no detalla el año de introducción al país.

Ambos cultivares son promovidos por el ICAFE por su tolerancia a la roya, esto como respuesta ante la afectación que vivió en Costa Rica por este hongo años anteriores a la introducción de estos cultivares. Recomienda el cultivar IAC Obatá 1669-20 para regiones lluviosas y el cultivar Catiguá MG2 para regiones tanto lluviosas como según si guía de buenas prácticas agrícolas (ICAFE, 2021).

3.3 Importancia de la semilla y su calidad

La importancia de las semillas y su calidad radica en el gran papel que desempeñan en la agricultura y su comercialización, Vindas et al. (2022) demostraron que las semillas de zanahoria son el componente básico en la producción agrícola, y de gran valor comercial, por lo que se debe garantizar la uniformidad y el vigor de la semilla que se comercializa.

Para mantener los estándares de calidad y poder competir a nivel internacional, es fundamental poseer sistemas de producción eficientes con altos rendimientos que ayuden a garantizar la seguridad alimentaria y la rentabilidad del agronegocio. Araujo et al. (2008) definieron que es necesario establecer las plantaciones a partir de semillas de óptima calidad para favorecer un rápido crecimiento y establecimiento del cultivo en el campo y evitar pérdidas.

Las semillas por su comportamiento germinativo durante el almacenamiento y capacidad de deshidratación para conservarla se pueden clasificar en ortodoxas y recalcitrantes. De acuerdo con Acosta (2022) las ortodoxas se caracterizan por resistir el proceso de deshidratación hasta el 5.00% de humedad, lo que les permite ser almacenadas por un largo tiempo sin perder severamente su viabilidad y germinar de una manera vigorosa.

Por el contrario, las recalitrantes no resisten a la deshidratación, y poseen un alto grado de humedad al momento de la cosecha, por lo que no pueden ser secadas a bajos contenidos de humedad porque afectan su viabilidad.

La semilla de café presenta un comportamiento intermedio entre ortodoxa y recalitrante y soporta deshidratación entre los 12.00 a 35.00% de humedad, valores inferiores o mayores a ese rango disminuyen considerablemente la germinación, por lo que se recomienda reducir la humedad hasta un valor de 25.00% (Alvarado et al., 2023).

De acuerdo con Flechas y Medina (2021), la semilla de café posee un rango de tolerancia a la deshidratación entre 0.10 - 0.30 g H₂O por gramo de peso seco (equivalente de un 10.00 a un 30.00% del peso) en donde presenta la menor afectación fisiológica posible. Por esta razón es muy importante desde el campo y el beneficiado asegurar alta calidad en los procesos de producción de la semilla para obtener lotes de semillas de buen desempeño.

3.3.1 Calidad genética

La calidad genética de las semillas se refiere a las características que determina el fito mejorador al liberar la variedad. Es la más importante debido a que se garantiza que las plantas obtenidas a partir de estas semillas presenten las características deseadas (Del Porte, 2021). Y expresen en campo ese potencial con tolerancia a factores bióticos y abióticos y altos rendimientos (Corbineau, 2012).

3.3.2 Calidad física

La calidad física de una semilla debe reunir ciertas características, Rao et al. (2007) detallan que son las características como la humedad, pureza física, daño mecánico, apariencia, peso de mil semillas, tamaño y peso volumétrico entre otras. El contenido de humedad es el factor que determina la velocidad en que la semilla se deteriora, generando un impacto en su longevidad.

3.3.3 Calidad fisiológica

Andrade (1992) afirma que es la capacidad que expresa la semilla a través de funciones vitales como germinación, vigor, y longevidad. Además, comprende aquellos atributos intrínsecos que determina su capacidad para germinar y producir poblaciones uniformes de plantas productivas, bajo una amplia variación de condiciones ambientales.

3.3.4 Viabilidad y germinación de las semillas

Es el grado en que una semilla se mantiene viva, metabólicamente activa y con enzimas capaces de catalizar reacciones metabólicas necesarias para la germinación y crecimiento de la plántula (Del Porte, 2021).

Según Martínez (2021), la germinación se define como el conjunto de fenómenos en los cuales el embrión contenido dentro de la semilla sale de su estado de reposo para transformarse en una planta capaz de vivir en el medio que se encuentra.

Para que el proceso de germinación concluya exitosamente es necesario un sistema radicular robusto que se exprese con la protrusión, de la radícula fuera de las envolturas seminales del fruto y en el campo se completa cuando se establece el desarrollo de la plántula que posteriormente será capaz de producir todas las sustancias que requiere para su crecimiento (Albornoz, 2022).

Existen factores que influyen en la germinación de la semilla de café, especialmente la presencia de pergamino, ya que se ha observado que la remoción o ausencia de éste puede acelerar la germinación en al menos 20 días (Vargas,2017).

Otro factor es el porcentaje de humedad en las semillas de café, Vargas (2017) obtuvo que las semillas con porcentajes de humedad del 40.00% presentaron mayores valores de germinación que aquellas con porcentajes de humedad del 30.00%.

3.3.5 Vigor de semillas

El vigor en un lote de semillas se determina por su velocidad y uniformidad de la germinación, y el vigor de una plántula se define como la culminación fisiológica y morfológica del proceso germinativo en diferentes ambientes, inclusive los menos favorables (Flechas y Medina, 2021).

Las pruebas de vigor nos permiten determinar con mayor exactitud la calidad de las semillas y estimar su posible desempeño en campo, en donde generalmente las condiciones son desfavorables, por ejemplo, se pueden encontrar diferencias de vigor entre lotes que presentan el mismo porcentaje de germinación obtenido en laboratorio, lo que permite realizar una clasificación con mayor precisión de la calidad de cada lote (Vindas et al., 2022).

Podemos asociar aspectos del comportamiento con el vigor, como son: la tasa y velocidad de germinación, crecimiento de las plántulas, desempeño en campo: (que incluye la tasa y uniformidad de la emergencia de plántulas) y potencial de almacenamiento (Del Porte, 2021).

3.4 Proceso de certificación de semillas en Costa Rica

Para el caso de nuestro país, como parte del proceso para la reproducción, comercialización y fiscalización de semilla la institución encargada del tema es la Oficina Nacional de Semilla (ONS, 2022). Este ente es el encargado del cumplimiento de normas y estándares de calidad para toda semilla que se pretenda producir y comercializar, de manera que se garantice la pureza genética y la física de ésta mediante todo un plan de trazabilidad establecido en su norma técnica para la producción de semilla certificada de café.

Como parte del procedimiento los técnicos deben realizar visitas de campo para verificar la pureza genética de la variedad, comprobar el estado general de las plantas, vigilar el manejo de la plantación y autorizar la cosecha del lote, así como emitir criterio y documentación de cada lote inspeccionado que respalde la producción de la semilla autorizada (obtenida a partir de lotes de semilla certificada).

Para certificar la semilla y que pueda ser comercializada, la ONS realiza un muestreo de los lotes ya procesados por el beneficio, se envían las muestras de estas semillas al CIGRAS, único ente avalado por la ONS, en donde se someten a una prueba de germinación y dependiendo de los resultados esta es aprobada para su comercialización, se establece una germinación igual o mayor a un 80.00% para poder comercializar, en caso contrario el ICAFE dispondrá de esta para fines comerciales.

3.4.1 Importancia del uso de semilla certificada

Las semillas certificadas generan ventajas económicas. Para Figueroa (2019) el uso de semilla certificada de arroz en Perú generó ventajas económicas como, lo fue el incremento de 26.94% de rendimiento por hectárea, lo cual aumentó el margen de utilidad en un 94.16% según el índice beneficio costo.

También en Perú en el cultivo de papa, se ha reportado que el uso de semilla asexual certificada mantiene la pureza varietal de los materiales genéticos, y el estándar sanitario, lo que

permite obtener un mayor rendimiento comercial, ya que disminuye considerablemente el porcentaje de desecho (Andrade et al., 2008).

A pesar de que las semillas certificadas tienen un precio mayor, en México algunos productores de maíz las prefieren por su alta productividad y el empleo de semillas certificadas en este caso se respaldó con indicadores económicos positivos debido a sus notables niveles de rendimiento (Hernández et al., 2018). Por otro lado, en el contexto del cultivo de frijol, un estudio realizado por Ávila y colaboradores en 2012 resaltó que la utilización de semilla certificada representó una opción tecnológica que impulsó el aumento en la producción, particularmente en las áreas de mayor rendimiento.

El café está basado en la producción de calidad en mercados de alta exigencia como lo es el caso de Costa Rica, por lo que para la ONS (2011) es de gran importancia una selección de lotes de semilla certificada que garantice identidad y pureza que asegure al productor un buen rendimiento, lo que también indica la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (2017) donde el uso de semilla certificada de café es primordial para la producción de plantas de alta calidad genética que puedan cumplir con la productividad y sostenibilidad para el caficultor.

3.5 Investigaciones relacionadas con la calidad de semilla por zona

Uno de los estudios encontrados se desarrolló en Brasil, como detalla De Vasconcelos et al. (2012) en un trabajo con diferentes variedades de soya en distintas regiones de Minas Gerais se concluyó que la germinación de semillas de todas las variedades o líneas estudiadas las mejores fueron los cultivares FT 104, Doko-RC y Conquista y las líneas UFV 9761190916 y UFV98-CR67.

Estas semillas presentaron un 85.00% de germinación en todas las regiones; lo que evidenció las diferencias que pueden presentar cultivares de una misma especie en términos de calidad de las semillas producidas.

Asimismo, en otra investigación llevada a cabo en Brasil, Hormaza (2017) indica que la calidad fisiológica y sensorial de semillas de café producidas en distintas altitudes y exposición a montañas puede ser distinta. Para esto se tomaron 470 puntos de muestreos en 29 municipios de las regiones Serras do Brigadeiro y Caparaó en Matas de Minas Gerais, donde las semillas cosechadas

de la zona fría de Noruega, por debajo de los 750 msnm, mostraron los mayores niveles de azúcares reductores y no reductores y, mayor actividad de enzimas PPO, APX Y MDA lo que resultó en mayor velocidad de germinación y vigor.

También, en Cuba Bonilla (2014) estudió la variación de peso y viabilidad de la semilla de *Pinus tropicalis* para diferentes procedencias de la provincia Pinar del Río, donde se demostró que el peso y la viabilidad de las semillas pueden variar dependiendo de la zona de procedencia, en donde la zona de Ceja del Negro presentó el mayor peso y viabilidad de las semillas.

En Indonesia se impulsó un estudio sobre diferentes genotipos de semillas de café, en donde Malau et al. (2018) investigaron el comportamiento germinativo de café de estos genotipos, en fincas productoras de semillas de la zona de Sumatra Utara, y se logró concluir que los genotipos presentan diferencias en cuanto al comportamiento germinativo, lo cual estos autores lo relacionan con altitud, ya que éstas presentaron una germinación con valores mayores a un 80.00% en esta condición.

3.6. Regiones cafetaleras de Costa Rica

En Costa Rica el 100.00% de la producción comercial de café es de la especie arábica, debido a su grano de mayor calidad y taza de mejores características organolépticas. Según el ICAFE (2015) en su reporte sobre el mejor café del mundo menciona que es cultivado en ocho zonas cafetaleras que son: Brunca, Turrialba, Tres Ríos, Orosi, Tarrazú, Valle Central, Valle Occidental y Guanacaste. En estos lugares, más del 80.00% del área cafetalera está localizada entre los 800 y 1,600 msnm con temperaturas que oscilan entre los 17.00° y 28.00°C, con precipitaciones entre los 2,000.00 a 3,000.00 milímetros.

3.6.1 Región Brunca

Está ubicada al sur del país compuesta por los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires y Coto Brus, sus suelos son de tipo ultisoles y andisoles, el periodo de cosecha va de agosto a febrero con precipitaciones que llegan a los 3,500.00 mm. Para efectos de este trabajo nos centramos en las zonas de Pérez Zeledón y Coto Brus, ya que es donde se encuentran los lotes certificados para la producción de semilla.

La zona de Pérez Zeledón presenta variedad de microclimas con altitudes que van desde los 800 a 1,700 msnm con temperatura promedio de 22.00°C. El área del cultivo de café se estima en 12,000 ha distribuidas en 4,200 fincas (ICAFE, 2002).

Coto Brus se ubica a las faldas de la cordillera de Talamanca con una economía dependiente en gran parte del café, involucra 75 comunidades presenta mayor altitud y humedad con temperaturas que van de los 18.00° a los 26.00°C (ICAFE, 2015).

3.6.2 Región Valle Central

Contempla las provincias de San José, Alajuela y Heredia, tiene influencia de la vertiente pacífico y presenta estación húmeda y seca bien definidas favoreciendo el establecimiento y producción del cultivo. Presenta altitudes que van desde los 900 hasta los 1,600 msnm, el 80.00% de los cafetales de la región están entre los 1,000 y 1,400 msnm, los suelos son andisoles presentan un ligero grado de acidez a causa del enriquecimiento por cenizas volcánicas, ricos en materia orgánica que favorecen la distribución y desarrollo de raíces y retención de humedad que ayudan al desarrollo de las plantas. El periodo de cosecha va de noviembre a febrero con temperatura promedio de 22.00°C. y precipitaciones de 2,500.00 mm (ICAFE, 2015).

3.6.3 Región Valle Occidental

Se compone por los sectores de San Ramón, Palmares, Naranjo, Grecia, Atenas, Valverde Vega y Alfaro Ruiz, todos de la provincia de Alajuela. Su producción es de alta calidad debido a sus microclimas y poseen suelos volcánicos de tipo andisoles, la altitud de la zona va desde los 700 hasta los 1,600 msnm con temperatura promedio de 21.00°C y una precipitación de 2,500.00 mm, con un periodo de cosecha que va de octubre a febrero (ICAFE, 2015).

4. METODOLOGÍA

El programa de Semilla Seleccionada de Café del Instituto de Café de Costa Rica aportó la semilla requerida para la investigación. Las semillas provinieron de campos certificados por la Oficina Nacional de Semillas para la cosecha 2023-2024. Las fincas que cumplieron con los requisitos de campos certificados que se describen en la Tabla 1 y representaron las siguientes regiones cafetaleras: Brunca (cantón de Coto Brus, Puntarenas y cantón de Pérez Zeledón, San José), Valle Central (cantón de Barva, Heredia) y Valle Occidental (cantón de Naranjo, Alajuela). Los cultivares que se utilizaron fueron Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20 (conocido también como Obatá rojo).

La cantidad de café cereza (fruta fresca) cosechado por cada tratamiento, (tabla 1) por variedad y por zona estuvo compuesta por un total de dos cajuelas (40L), y se obtuvo una muestra que fuera representativa de todo el lote cosechado. La muestra se compuso de ocho submuestras (5L) al momento de la cosecha. Se tomaron muestra de ocho tratamientos, cada uno representa un cultivar por las diferentes zonas y se hicieron tres repeticiones por tratamiento. La cosecha de la fruta se hizo el mismo día por cada finca según la zona.

4.1 Tratamientos

En la tabla 1 se detallan los tratamientos que fueron utilizados en esta investigación

Tabla 1. Tratamientos para evaluar la calidad de las semillas de café (*Coffea arabica* L.) de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, provenientes de las regiones Brunca, Valle Occidental, Valle Central.

Tratamiento	Repetición	Región	Zona	Cultivar
T1	R1	Brunca	Coto Brus	Catiguá MG2
T1	R2	Brunca	Coto Brus	Catiguá MG2
T1	R3	Brunca	Coto Brus	Catiguá MG2
T2	R1	Valle Occidental	Naranjo	Catiguá MG2
T2	R2	Valle Occidental	Naranjo	Catiguá MG2
T2	R3	Valle Occidental	Naranjo	Catiguá MG2
T3	R1	Valle Central	Barva	Catiguá MG2
T3	R2	Valle Central	Barva	Catiguá MG2
T3	R3	Valle Central	Barva	Catiguá MG2
T4	R1	Brunca	Pérez Zeledón	Catiguá MG2
T4	R2	Brunca	Pérez Zeledón	Catiguá MG2
T4	R3	Brunca	Pérez Zeledón	Catiguá MG2
T5	R1	Brunca	Coto Brus	IAC Obatá 1669-20
T5	R2	Brunca	Coto Brus	IAC Obatá 1669-20
T5	R3	Brunca	Coto Brus	IAC Obatá 1669-20
T6	R1	Valle Occidental	Naranjo	IAC Obatá 1669-20
T6	R2	Valle Occidental	Naranjo	IAC Obatá 1669-20
T6	R3	Valle Occidental	Naranjo	IAC Obatá 1669-20
T7	R1	Valle Central	Barva	IAC Obatá 1669-20
T7	R2	Valle Central	Barva	IAC Obatá 1669-20
T7	R3	Valle Central	Barva	IAC Obatá 1669-20
T8	R1	Brunca	Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20
T8	R2	Brunca	Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20
T8	R3	Brunca	Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó una verificación de la calidad de la fruta por medio de una prueba de flotes para la revisión de granos verde, vano, conteo de granos brocados, donde se verificó que se cumplieron con lo establecido en el Reglamento Técnico para la Certificación de Semilla de Café (ONS, 2011).

El manejo agronómico de cada campo de semillas en las fincas fue el recomendado en la guía técnica del cultivo de café 2020 (ICAFE, 2020). En la tabla 2 se detalla la ubicación de las fincas, así como el área de los lotes certificados de semilla para esta investigación.

Tabla 2. Datos de las fincas donde se encuentran los lotes certificados para semilla.

Nombre	Región	Zona cafetalera	Cantón	Distrito	Altura (msnm)	Coordenadas	Área del lote de semilla (ha)
Finca Cafetalera el Arrempujón S.A.	Brunca	Coto Brus	Coto Brus	Sabalito	1 214	X: 8 ° 88 08 81 Y:-82.79 97 75	1
Finca Cloza	Valle Occidente	Naranjo	Naranjo	Rosario	837	X: 10 ° 044744 Y: -84. 37 22 48	1
Finca La Palmira	Brunca	Pérez Zeledón	Pérez Zeledón	San Isidro de El General	790	X: 9 ° 38 30 76 Y: -83. 67 71 33	0.5
Finca ICAFE	Valle Central	Barva	Barva	San Pedro	1 184	X:10 ⁰ 03 69 83 Y: -84. 13 43 35	0.5

Fuente: Elaboración propia.

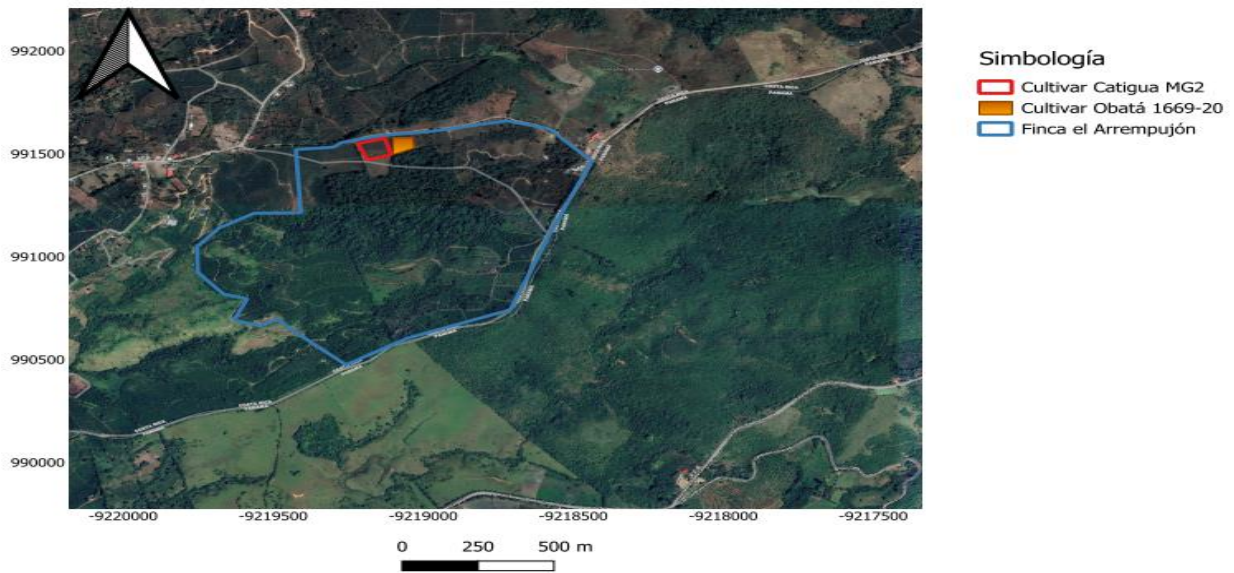


Figura 2. Representación de la Finca Cafetalera el Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica,

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Representación de la Finca Cloza., Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Representación de la Finca La Palmira., Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

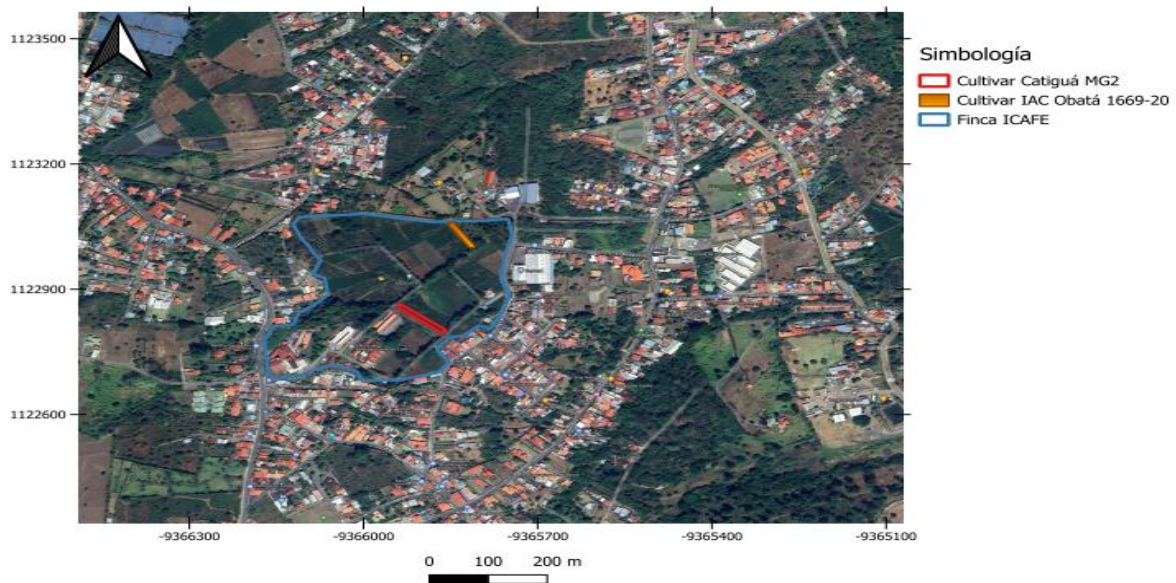


Figura 5. Representación de la Finca ICAFE., Barva, Heredia, Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Caracterización edafoclimáticas de las zonas de estudio

En cada finca se utilizó un área aproximada de 1 ha, que corresponden a los lotes de semilla en estudio, en la cual se realizaron tres observaciones con un barreno tipo holandés hasta 1.20 m de profundidad. Para la descripción visual y física del sitio (textura, color, estructura) mediante un recorrido en transecto se decidió el sitio más representativo para la descripción fisicoquímico de las propiedades del suelo (calicata) de acuerdo con los lineamientos establecidos por *Soil Survey Manual* de United States Department of Agriculture (USDA, 1993).

En cada observación se determinó su ubicación espacial mediante un GPS. También, se separaron los distintos horizontes genéticos del perfil, y se caracterizó su nomenclatura, los atributos de textura, color, profundidad y consistencia. En adición, se describieron características del terreno, cómo son su uso y la vegetación según Holdridge, Instituto Nacional de Aprendizaje (INA, 2017) y Organización de los Estados Americanos (OEA, 1997).

Se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas del ICAFE, ubicadas en las zonas de estudio (a una distancia menor de 5 km de las fincas) para obtener datos climatológicos de precipitación, temperatura, radiación solar. Dichos datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Se calcularon promedios semanales, así como sus respectivas desviaciones estándar, mínimos y máximos. Adicionalmente, en cada finca del lote certificado, se recolectó el registro del manejo de las plantaciones de la cosecha 2023-2024 a partir de datos relacionados con nutrición (fuentes de fertilizantes y cantidades), control fitosanitario de las principales enfermedades, control de malezas, densidad de siembra y productividad en fanegas por hectárea (ff/ ha).

4.3 Manejo agronómico de los lotes certificados para semilla, cosecha 2023-2024

En la guía del cultivo del ICAFE (2020) indica la importancia de realizar el análisis de suelo para conocer los nutrientes e identificar su estado y su aporte a la plantación dependiendo de la fase del cultivo. La recomendación de fertilización se brindó con respecto a la estimación en la producción de café en fanegas por hectárea por lo que coincidió con lo extraído de nutrientes dependiendo del nivel de producción (Anexo 7).

En el control de enfermedades se ajustó con el recomendado para las principales enfermedades del café, los productores en el seguimiento agronómico de cada lote utilizaron el

fungicida recomendado por la guía técnica; se dio un manejo de enfermedades recomendado por ICAFE (2020) lo que permitió que lotes de semilla se encontraran en un nivel óptimo de sanidad al momento de la cosecha. En las cuatro fincas utilizaron el mismo fungicida en la misma dosis cultivo (Opera 18.3 SE, Pyraclostrobin, Epoxiconazole, en dosis de 1 L/ha) y la misma cantidad de aplicaciones al año (tres aplicaciones) según se recomienda en la guía técnica del cultivo.

El manejo de malezas para todos los lotes se llevó a cabo de forma manual coincidió con lo recomendado por la guía del cultivo ICAFE (2020) que puede ser de forma manual o química dependiendo de la disponibilidad del productor. Para el caso de las fincas en estudio de este trabajo el control de malezas se realizó de forma manual mediante chapeas.

En cuanto al manejo de distancias de siembra varió dependiendo del arreglo que desee utilizar cada finca en sus respectivos lotes donde lo recomendable siempre es mayor o igual a 5,000 plantas por hectárea (5,000 puntos de siembra a un eje por planta). La cantidad de plantas por hectárea no representaron ninguna variación debido a que todos los lotes se les brindo el manejo de acuerdo con la guía establecida por el ICAFE.

Las fincas presentan distancias de siembra muy similares, la mayoría poseen una densidad de siembra de 5,000 plantas por hectárea, excepto la Finca Cafetalera El Arrempujón que presentó 5,917 plantas por hectárea. Todas las fincas del trabajo presentaron Poró (*Erythrina* sp). como especie para la sombra (Anexo 8). En cuanto a la producción (ff/ha), la mayor productividad se presentó en los cultivares de esta investigación Catiguá MG2 (50 ff/ha) y Obatá IAC 1669-20 (56 ff/ha) de la Finca Cafetalera El Arrempujón. La menor producción se reportó en la Finca Cloza para los mismo cultivares, Catiguá MG2 (40 ff/ha) y Obatá IAC 1669-20 (42 ff/ha) (Anexo 9).

4.4 Procesamiento de las semillas

Las semillas de cada tratamiento fueron cosechadas en su punto óptimo de maduración, el cual correspondió a la selección de únicamente frutos completamente rojos (Figura 6), separadas por zona y por variedad, en cada una de estas se midieron la cantidad de granos por litro con una probeta. El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el beneficio del ICAFE ubicado en San Pedro, Barva, Heredia, en donde previo al procesamiento de las semillas se evaluó los flotes, granos brocados y verdes como lo estipula la ONS (2011). La fruta se procesó según la metodología utilizada en el ICAFE para la extracción de semillas. La cual consistió en el despulpado mecánico de la fruta y un desmucilaginado por fermentación natural durante 24 horas y a temperatura ambiente.

Posteriormente se lavó la semilla y se secó mecánicamente a una temperatura de 36.00°C hasta alcanzar un rango de humedad entre 20.00 y 25.00%, esto para evitar pérdidas de la viabilidad del embrión y también para evitar la proliferación de hongos y enfermedades durante el almacenamiento (Centro de Investigaciones en Café, CENICAFÉ 2004); World Coffee Research (2021); Alvarado et al., (2023). Después del secado, se realizaron los análisis de calidad físicos y fisiológicos.

Las pruebas de calidad de las semillas se realizaron en conjunto en el Laboratorio Oficial de Análisis de Calidad de Semillas del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica (UCR) en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. Las pruebas de vigor de plántulas en invernadero fueron efectuadas en las instalaciones del ICAFE, ubicada en San Pedro, Barva, Heredia, Costa Rica.



Figura 6. Estado de maduración óptima de la fruta de café.

4.4.1 Determinación de la humedad

En cada repetición el porcentaje de humedad en las semillas se realizó por el método gravimétrico, secando la semilla en una estufa. Se colocaron dos repeticiones de 25 semillas, al azar, con pergamino, a una temperatura de $105.00^{\circ}\text{C} \pm 3.00^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y los resultados se expresaron en porcentaje con base húmeda según la metodología establecida por el *Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento de Brasil* (MAPA, 2009).

4.4.2 Determinación de la pureza física

El análisis de pureza física se llevó a cabo de forma manual a partir de una muestra de 400 g de semilla. Por repetición se realizaron un total de cuatro repeticiones y se consideró como porcentaje de pureza física los valores referentes al resultado de "semillas puras" de acuerdo con las disposiciones mencionadas en el "Regras para Análise de Sementes (RAS)" de Brasil (MAPA, 2009). Se consideraron "semilla pura" aquella fracción de análisis de muestras que contenga todo tipo de semilla de café (sanas o dañadas); las materias extrañas como palos, piedras entre otros no se consideraron "semillas puras".

4.4.3 Tipo de semilla predominante por lote

A partir de la fracción de semilla pura obtenida en el análisis de pureza, los diferentes tipos de semillas se separaron manualmente por cada tratamiento según como indica Silva (2003): semillas chatas o normales (CH), semillas mocas o caracol (MO), semillas sin pergamino (SP), semillas con pergamino dañado (PD) y semillas con cáscara o bellota (CC). Se calculó la relación porcentual del peso obtenido por cada tipo de semilla en relación con el peso total de la muestra previo a la separación por tipo.



Figura 7. Tipos de semillas según Silva (2003): Semillas chatas o normales (CH). Semillas mocas o caracol (MO). Semillas sin pergamino (SP). Semillas con pergamino dañado (PD). Semillas con cáscaras o bellota (CC).

4.4.4 Estimación del peso de mil semillas




El peso de mil semillas se obtuvo según las normas de la RAS (MAPA, 2009), en donde la varianza aritmética se aplicó a ocho repeticiones de 100 semillas a partir de la fracción de semilla pura obtenida en el análisis de pureza, para cada repetición el peso expresado para mil semillas en unidades de gramos. En esta prueba se usaron las semillas secas. (MAPA, 2009).

$$\text{Peso de mil semillas (PMS): } \frac{\text{peso de la muestra} \times 1000}{\text{número total de semillas}}$$

4.5 Pruebas de germinación

Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas (sin pergamino) por cada repetición en cajas plásticas transparentes con turba como sustrato para la germinación. Las cajas fueron acondicionadas en una sala de germinación con temperatura controlada a 30.00°C, humedad relativa próxima al 100.00% y fotoperiodo de 12 horas luz. Se realizó el conteo de germinación a los 30 días después de la siembra (DDS) según la RAS (MAPA, 2009), en donde se calculó el porcentaje de germinación a partir del conteo de las plántulas normales. De acuerdo con la RAS, se consideraron como plántulas normales aquellas que tenían una radícula sana con longitud mínima de 4.00 mm y al menos dos raíces secundarias. También, se hizo el conteo de plántulas anormales, semillas duras o sin germinar y semillas muertas, y se determinó el porcentaje de cada uno de estos parámetros.

Tabla 3. Clasificación de plántulas normales, plántulas anormales, semillas duras y semillas muertas, según la RAS (MAPA, 2009), en pruebas de germinación de semillas de café realizadas en CIGRAS, UCR.

Ilustración	Clasificación	Definición
	Plántulas normales	Son aquellas que muestran su potencial y cuentan con una raíz pivotante y recta y con raíces laterales para continuar con su desenvolvimiento y dar origen a plantas normales en condiciones favorables.
	Plántulas anormales	Son aquellas que no muestran su potencial y no cuentan con una raíz pivotante recta y raíces laterales y dar origen a plantas normales en condiciones favorables.
	Semillas duras o sin germinar	Son las semillas que permanecen sin adsorber agua por un periodo más largo de lo normal y se presentan por tanto al final de la prueba presentaron un aspecto de semillas recién colocadas en el sustrato y no humedecidas.

	<p>Semillas muertas</p>	<p>Son semillas que al final que al final de la prueba no germinan, no están duras, generalmente se presentaron con afectación de microorganismos y no presentan ninguna señal de inicio de germinación.</p>
---	-------------------------	--

4.5.1 Prueba de emergencia de plántula en invernadero

La emergencia de plántulas se llevó a cabo en un invernadero donde se utilizó la metodología descrita por Nakagawa (1999). Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas sin endocarpio (pergamino) en turba para cada repetición en bandejas para germinación de aluminio con medidas de 52.00 cm de largo y 32.00 cm de ancho, la turba contó con una profundidad de 8.00 cm y las semillas se sembraron a una profundidad de 3.00 cm. Se utilizó turba con las propiedades recomendadas por *International Seed Testing Association* (2018) para la germinación de semillas, con pH de 6,0, tamaño de partículas de 0-10.00 mm. El conteo de plántulas emergidas se realizó a los 60 DDS y se consideró el estadio fenológico de “fósforo” (figura 8) como criterio para contar una plántula como efectivamente emergida. Los tratamientos tuvieron una distribución aleatoria durante esta prueba.



Figura 8. *Estadio fenológico “fósforo” de plántulas de café, ICAFE, Costa Rica.*

4.5.2 Longitud de plántulas y de raíz

Para la medición de la altura de la plántula, se utilizó la metodología propuesta por Nakagawa (1999). Se tomó la medida de 10 plántulas al azar por repetición de cada uno de las repeticiones de la porción de plántulas emergidas, para un total de cuatro repeticiones. La medición se realizó con la ayuda de un vernier (pie de rey) con una resolución 0.10 mm, en donde se tomó la raíz más larga como referencia para la medición y se midió desde la punta de la raíz hasta el punto de unión de la raíz con el tallo. Para medir la altura, se tomó como referencia el mismo punto de la de la raíz con el tallo, hasta la inserción de las hojas cotiledonales.

4.5.3 Peso seco de plántulas (parte aérea y raíz)

La parte aérea y radical de las mismas 10 plántulas del punto 4.5.2 de cada repetición por cada uno de las repeticiones fueron colocadas en bolsas de papel para realizar la medición del peso seco, en horno de convección a 60.00°C por un tiempo de 72 horas y hasta obtener un peso constante según la metodología de Nakagawa (1999). El material seco fue pesado en una balanza analítica de 0.001 g. La masa seca se obtuvo dividiendo el total de masa seca entre el número de plántulas recolectadas y los resultados fueron expresados en miligramos por planta.

4.6 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con un arreglo para análisis de varianza de dos factores con 2 x 4 niveles, en donde el factor A correspondió a los cultivares y el factor B a la zona de procedencia. En el diseño experimental, se estimó el efecto del cultivar y el efecto de la zona, además de la interacción entre ambos factores. La unidad experimental estuvo constituida por dos cajuelas, de las cuales se obtuvieron tres repeticiones por respuesta para cada variable.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + Z_j + (C \times Z)_{k} + \varepsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Representa la observación correspondiente al nivel (i) de factor Cultivar al nivel (j) de factor Zona y al nivel (k) del factor interacción Cultivar y Zona.

μ = Es la media general.

C = Efecto del factor cultivar.

Z = Efecto del factor zona.

C x Z = Efecto de la interacción entre los factores “cultivar” y “zona”.

ε = Efecto del error experimental.

Los datos obtenidos de todas las variables fueron analizados en cuanto a su normalidad y homocedasticidad por medio del programa RStudio (R Core Team, 2003), para posteriormente probar los efectos principales y las interacciones, a través de un análisis de la varianza (ANDEVA). Las comparaciones múltiples de los tratamientos experimentales fueron analizadas estadísticamente por medio de la prueba HSD de Tukey.

Se analizaron los datos climáticos mediante estadística descriptiva para generar promedios diarios, así como sus respectivas desviaciones estándar, mínimos y máximos.

5. Resultados

5.1. Procesamiento de semilla

Evaluaciones realizadas en el campo indicaron que los lotes analizados de los distintos tratamientos no presentaron granos verdes y en cuanto a grano vano se observó el de mayor valor (2.00%) en el Valle Central en la variedad Catiguá MG2. Para el grano vano el valor más alto fue un 5.00% en la variedad Catiguá MG2 de la zona de Valle Central. No se encontraron granos brocados en ninguno de los lotes estudiados.

Para el promedio de granos por litro evaluado en muestra de campo, en los dos cultivares se presentó una menor cantidad de frutos en la zona de Coto Brus, mientras que en la zona de Valle Occidente se presentó la mayor cantidad de granos por litro (Anexo 1).

En beneficiado para el peso en pergamino seco (de los 40L de muestra, según la humedad establecida por ICAFE para los lotes de semilla), el cultivar Catiguá MG2 fue el que presentó el menor valor (4.99 kg) en Pérez Zeledón y el de mayor valor (6.27 kg) fue en la zona de Valle Central, mientras que el cultivar IAC Obatá 1669-20 presentó el valor de menor rendimiento en la zona de Valle Central (5.54 kg) y el mayor fue en la zona de Coto Brus (6.37 kg) (Anexo 2).

5.2. Caracterización del suelo de las fincas productoras de semilla certificada de la cosecha 2023-2024

5.2.1 Finca Cafetalera el Arrempujón S.A

Se encuentra localizada en La Lucha, distrito Sabalito, cantón de Coto Brus, Puntarenas. Presenta una pendiente de 23.00%, una erosión leve y un drenaje bueno. Las coordenadas geográficas son las siguientes, latitud: 8 ° 88 08 81 y longitud: -82.79 97 75 y detallan donde se realizó el muestreo (Anexo 3). En la tabla 4 se presentan distintas características físicas encontradas por horizontes, como lo son la profundidad, color, textura y estructura, entre otros.

Tabla 4. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A, Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Textura	Estructura	Consistencia (Húmedo)	Cantidad de raíces	DAP (g/cm ³)
Ap	0-23	10 YR 2/1	Franco Arcilloso	Granular	Plástico y Adhesivo media	Muchas	0.84
Bt1	24-40	10 YR 3/6	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alta	Muchas	0.77
Bt2	41-79	10 YR 3/6	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alta	Poca	0.66
Bt3	80-120	10 YR 3/6	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alta	Poca	0.55

Nota: DAP (Densidad aparente del suelo).

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 5. Propiedades químicas de suelo en la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica, según metodología de extracción en KCL-Olsen.

Horizonte	pH (H ₂ O)	cmol (+)/L				mg/L				
		Acidez	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe
Ap	4.88	0.23	0.70	10.99	4.75	5.00	13.00	2.10	13.00	13.00
Bt1	5.37	1.33	0.20	8.82	3.25	8.60	28.00	1.90	4.00	4.00
Bt2	5.78	2.32	0.23	0.17	0.08	2.70	17.00	1.20	3.00	3.00
Bt3	5.64	2.12	0.14	1.05	0.21	3.40	20.00	1.50	3.00	3.00

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

Tabla 6. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.

Horizonte	% masa		cmol (+)/kg						%	
	M.O	C	Ca	Mg	K	Na	Bases	CIC	Sat. Bases	Ret. P
Ap	8.02	5.61	7.13	1.51	1.09	0.06	9.79	39.68	24.70	85.40
Bt1	4.13	2.89	6.95	1.60	0.73	0.05	9.33	34.16	27.30	76.60
Bt2	2.32	1.62	2.30	0.94	0.54	0.05	3.83	25.35	15.10	81.90
Bt3	2.20	1.54	6.53	1.87	0.42	0.06	8.88	30.73	28.90	77.90

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

5.2.2 Finca Cloza

Se encuentra localizada en Rosario, Naranjo, Alajuela. Presenta una pendiente de 3.00%, una erosión leve y un drenaje bueno. Las coordenadas geográficas son las siguientes, latitud: 10° 02.670 y longitud: -84 22,308, las cuales se detallan donde se realizó el muestreo (Anexo 4). En la tabla 7 se presentan distintas características físicas encontradas por horizontes como son la profundidad, color, textura y estructura entre otros.

Tabla 7. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Textura	Estructura	Consistencia (Húmedo)	Cantidad de raíces	DAP (g/cm ³)
Ap	0-24	5y2.5/1	Franco	Granular	Plástico y Adhesivo	Poca	0.92
Bw1	25-48	2.5y2.5/1	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo	Nula	1.09
Bw2	49-70	5y2.5/1	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo	Nula	0.94
Bt	71-120	10yr3/3	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo	Nula	0.80

Nota: DAP (Densidad aparente del suelo).

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 8. Propiedades químicas de suelo en la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica según metodología de extracción en KCL-Olsen.

Horizonte	pH (H ₂ O)	cmol (+)/L				mg/L				
		Acidez	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe
Ap	5.04	2.48	0.58	0.34	0.11	50.10	25.30	19.10	19.10	158.00
Bw1	5.10	5.70	0.40	1.93	0.36	25.00	25.20	9.40	9.40	173.00
Bw2	4.52	3.12	0.32	2.93	0.53	2.70	16.00	1.90	1.90	102.00
Bt	4.96	1.54	0.19	0.49	0.11	5.00	17.40	1.30	1.30	108.00

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

Tabla 9. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca Cloza Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

Horizonte	% masa		cmol (+)/kg						%	
	M.O	C	Ca	Mg	K	Na	Bases	CIC	Sat. Bases	Ret. P
Ap	6.38	4.46	5.61	0.78	0.09	0.04	6.52	20.89	31.20	76.20
Bw1	2.15	1.50	0.93	0.25	0.06	0.04	1.28	10.61	12.10	79.50
Bw2	1.46	1.02	0.60	0.20	0.06	0.04	0.90	5.33	16.90	81.80
Bt	0.86	0.60	0.32	0.12	0.15	0.04	0.63	5.41	11.70	79.80

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

5.2.3 Finca La Palmira

Se encuentra localizada en la Bonita de Sinaí, San Isidro del General, Pérez Zeledón, San José. Presenta una pendiente de 8.00% una erosión y un drenaje leves. Las coordenadas geográficas son las siguientes, latitud: 9° 38 30 76 y longitud: -83. 67 71 33, que detallan donde se realizó el muestreo (Anexo 5). En la tabla 10 se presentan distintas características físicas encontradas por horizontes como son la profundidad de cada horizonte, color, textura y estructura entre otros.

Tabla 10. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca la Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Textura	Estructura	Consistencia (Húmedo)	Cantidad de raíces	DAP (g/cm ³)
Ap	0-25	10YR 4/4	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alto	Muchas	0.65
Bt1	26-92	7.5 YR 4/6	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alta	Poca	1.07
Bt2	93-120	7.5 YR 4/6	Arcilloso	Bloques Subangulares	Plástico y Adhesivo Alta	Poca	1.39
Bw	121-180	7.5	Arcilloso	Bloques	Plástico y	Nula	1.55

		YR 4/6		Subangulares	Adhesivo Alta		
--	--	-----------	--	--------------	------------------	--	--

Nota: DAP (Densidad aparente del suelo).

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 11. Propiedades químicas de suelo en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, según metodología de extracción en KCL-Olsen.

Horizonte	pH (H ₂ O)	cmol (+)/L				mg/L				
		Acidez	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe
Ap	5.68	1.76	0.08	1.34	0.26	14.50	5.80	44.00	2.00	290.00
Bt1	5.48	0.73	0.06	5.21	1.62	4.90	4.00	1.10	0.00	225.00
Bt2	5.56	3.12	0.06	1.56	0.32	5.60	2.50	0.70	1.00	130.00
Bw	5.80	1.94	0.14	3.91	0.96	2.10	1.20	0.20	0.00	61.00

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

Tabla 12. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Horizonte	% masa		cmol (+)/kg						%	
	M.O	C	Ca	Mg	K	Na	Bases	CIC	Sat. Bases	Ret. P
Ap	10.45	7.31	3.43	1.47	0.32	0.05	5.27	32.96	16.00	93.90
Bt1	1.57	1.10	2.40	0.28	0.12	0.07	2.87	30.42	9.40	99.40
Bt2	1.24	0.87	2.36	0.41	0.27	0.05	3.09	31.95	9.70	99.80
Bw	1.07	0.75	2.32	0.37	0.17	0.05	2.91	33.44	8.70	99.90

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

5.2.4 Finca ICAFE

Se encuentra localizada en San Pedro, Barva, Heredia. Presenta una pendiente de 5.00%, una erosión leve y un drenaje bueno. Las coordenadas geográficas son las siguientes, latitud: 10° 036983 y longitud: -84. 134335, que detallan donde se realizó el muestreo (Anexo 6). En la tabla 13 se

presentan distintas características físicas encontradas por horizontes como son la profundidad de cada horizonte, color, textura y estructura entre otros.

Tabla 13. Características físicas del suelo de muestras tomadas a partir de una calicata del lote de semilla de la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Textura	Estructura	Consistencia (Húmedo)	Cantidad de raíces	DAP (g/cm ³)
Ap	0-14	10YR 2/4	Franco	Granular	Poco plástico y adhesivo	Muchas	1.12
A2	15-42	10 YR 3/2	Franco Arcilloso	Granular	Poco plástico y adhesivo	Muchas	0.90
Bw1	43-108	10 YR 3/3	Franco Arcilloso	Bloques Subangulares	Plasticidad media	Muchas	0.90
Ab	109-126	10 YR 3/4	Franco	Bloques Subangulares	Plasticidad media	Pocas	0.81
Bw2	127-180	10 YR 3/4	Franco Arcilloso	Bloques Subangulares	Plasticidad media	Pocas	0.87

Nota: DAP (Densidad aparente del suelo).

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Tabla 14. Propiedades químicas de suelo en la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica. según metodología de extracción en KCL-Olsen.

Horizonte	pH (H ₂ O)	cmol (+)/L				mg/L				
		Acidez	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe
Ap	4.26	2.07	0.41	1.95	0.46	26.00	24.00	9.60	38.00	233.00
A2	4.88	0.88	0.88	2.65	0.88	12.00	18.00	17.60	14.00	218.00
Bw1	5.21	0.28	1.76	3.30	0.61	18.00	22.00	11.41	34.00	276.00
Ab	5.43	0.20	0.60	4.40	0.80	8.00	21.00	8.23	22.00	222.00
Bw2	5.89	0.18	2.35	2.80	0.34	12.00	20.00	16.60	18.00	180.00

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

Tabla 15. Análisis de carbono, materia orgánica, CIC, retención de fósforo y cationes extraíbles en acetato de amonio en suelo de la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica.

Horizonte	% masa		cmol (+)/kg						% Ret.	
	M.O	C	Ca	Mg	K	Na	Bases	CIC	Sat. Bases	P
Ap	5.45	3.81	1.88	0.62	0.87	0.02	3.39	44.37	7.64	84.27
A2	3.84	2.69	2.36	0.77	1.28	0.05	4.46	46.29	9.63	88.64
Bw1	1.86	1.30	3.49	0.48	2.44	0.05	6.46	43.66	14.80	92.30
Ab	2.34	1.64	4.28	0.92	1.48	0.15	6.83	48.84	13.98	92.28
Bw2	0.81	0.57	3.10	0.20	2.74	0.06	6.10	50.33	12.12	94.33

Fuente: Modificada, realizado en Laboratorio Químico ICAFE, 2024.

5.3. Zonas de Vida

Es la clasificación Holdridge de las diferentes zonas según el comportamiento global bioclimático, se clasifican según los efectos que tenga la temperatura y la precipitación en la vegetación (MAG, 2010).

Para el Instituto Meteorológico Nacional (2000), la zona de Pérez Zeledón y Coto Brus la zona de vida se encuentra clasificada como bosque muy húmedo Premontano (bmh-P) transitorio a basal con características de una alta precipitación y temperaturas para ICAFE (2022) pueden estar entre los 17.00 y 24.00°C y precipitaciones que pueden llegar a los 3,000.00 mm. Se considera una

zona favorable para cultivos permanentes y pastizales Organización de Estados Americanos (OEA) (1997).

Para la región de Valle Occidente según Montenegro (2019) cuenta con una zona de vida bosque húmedo premontano (bmh-P) con temperatura y precipitación media anual de 21.00°C y 2,200.00 mm, en donde se encuentra un periodo seco definido que va desde diciembre hasta finales de abril.

Para el Valle Central, según el INA (2017), el 16,50% del territorio se clasifica como bosque húmedo premontano (bh-P) se pueden presentar precipitaciones que van desde los 1,200.00 hasta los 2,200.00 mm anuales, un periodo seco que puede ir de los 3,5 a los 5 meses, con suelos volcánicos fértiles.

5.4 Datos climáticos de las diferentes zonas en estudio

5.4.1 Zona de Coto Brus

El promedio de precipitación semanal (figura 9) en los años 2018 al 2023 los meses donde se presentó una menor precipitación fueron enero, febrero, marzo, abril y las últimas tres semanas (50, 51 y 52) de diciembre, con valores que estuvieron entre 6.30 mm en febrero semana 8 como mínimo hasta 53.40 mm en la semana 17 como máximo.

En los meses de mayo a noviembre fueron donde se presentó una mayor precipitación entre los años 2018 al 2023, con valores que estuvieron entre 28.00 mm en julio en la semana 28 hasta 134.00 mm en octubre en la semana 40. La zona presenta de Coto Brus presenta siete meses con mayor precipitación y cinco meses con menor precipitación en estos años analizados.

Los valores de precipitación semanal media más bajos corresponden al año 2023 (36.47 mm) y 2019 (45.00 mm). Los periodos con mayor precipitación media son 2018 (72.00 mm) y 2020 (71.00 mm) (Anexo 10).



Figura 9. Precipitación semanal promedio en la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.

La temperatura promedio entre los periodos 2018 al 2023 oscilo entre los 22.00 y 24.00 °C donde en la semana 1 y 2 los valores mínimos fueron 22,10 °C y la temperatura más alta se dio en marzo en la semana 13 con 23.50 °C (Figura 10). La temperatura media semanal osciló entre los 22.00 y 23.20 °C entre los periodos en estudio (Anexo 11).



Figura 10. Temperatura semanal promedio en la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.

La radiación solar comprendida en los meses de enero, febrero, marzo, abril y las últimas tres semanas de diciembre es donde se registraron los valores de radiación más altos, la cual coincide

con la época de menor precipitación para esta zona. De los meses de abril a la primera semana de diciembre es donde se registraron los menores valores de radiación, y coincidió con la época de mayor precipitación de esta zona (Figura 11). Entre los años 2018 a 2023 se registró una radiación solar que oscilo entre 25.18 a 34.12 MJd/m² (Anexo 12).



Figura 11. Radiación solar semanal promedio en la zona de Coto Brus entre los años 2018 al 2023.

5.4.2 Zona de Valle Occidente

El promedio de precipitación semanal (figura 12) en los años 2018 al 2023 los meses donde se presentó una menor precipitación fueron enero, febrero, marzo, abril y diciembre, con valores que estuvieron entre 0.00 mm en febrero semana 6 como el mínimo hasta 18.10 mm en la semana 15 en abril como el máximo.

En los meses de mayo a noviembre fueron donde se presentó una mayor precipitación entre los años 2018 al 2023, con valores que estuvieron entre 23.30 mm en mayo en la semana 18 como valor mínimo hasta 95.40 mm en octubre en la semana 41 como valor máximo. La zona presenta siete meses con mayor precipitación y cinco meses con menor precipitación en estos años analizados.

La precipitación media semanal de menor valor se presentó en el año 2020 con 37.00 mm y el de mayor valor fue el 2022 con 55.00 mm (Anexo 13).



Figura 12. Precipitación semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.

En la temperatura entre los años 2018 al 2023 osciló entre 21.00 a 24.00 °C. En la semana 1 se presentó el valor menor con un 21.10 °C y en la semana 20 se presentó el mayor valor con 22,80 °C (Figura 13). La temperatura media semanal entre los años 2018 al 2023 osciló entre 21.00 y 22.00 °C (Anexo 14).



Figura 13. Temperatura semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.

La radiación solar comprendida del 2018 al 2023 los meses donde se registró los valores mayores fueron en enero, febrero, abril y diciembre donde coincidió con la época de menor precipitación y los meses de mayo a noviembre se registró los mayores valores coincidiendo con los meses de mayor precipitación en esta zona (Figura 14). Entre los años 2018 a 2023 se registró una media de radiación solar que osciló entre 26.04 a 32.30 MJd/m² (Anexo 15).



Figura 14. Radiación solar semanal promedio en la zona de Valle Occidente entre los años 2018 al 2023.

5.4.3 Zona de Pérez Zeledón

El promedio de precipitación semanal (figura 15) en los años 2018 al 2023 los meses donde se presentó una menor precipitación fueron en enero, febrero, marzo y las últimas tres semanas (50, 51 y 52) de diciembre, con valores que estuvieron entre 0.80 mm en febrero semana 6 como mínimo hasta 28.00 mm en marzo semana 11 como valor máximo.

En los meses de abril a primera semana de diciembre fueron donde se presentó una mayor precipitación entre los años 2018 al 2023, con valores que estuvieron entre 34.30 mm en diciembre en la semana 49 hasta 135.30 mm en agosto en la semana 34. La zona presentó ocho meses con mayor precipitación y cuatro meses con menor precipitación en estos años analizados.

La media semanal con el valor más alto en el año 2020 fue de 74.00 mm y el valor más bajo en el periodo de los seis años fue en el año 2023, con 42.00 mm (Anexo 16).



Figura 15. Precipitación semanal promedio en la zona Pérez Zeledón entre los años 2018 al 2023.

Para la temperatura promedio semanal de los años de 2018 al 2023 osciló entre 23.00 °C hasta 26.00 °C presentó el valor mínimo en la semana 2 con 23.00 °C y el máximo en marzo en la semana 13 con un valor de 25.30 °C (Figura 16). Además, la temperatura media semanal entre los años 2018 al 2023 osciló entre 22.00 y 24.00 °C (Anexo 17).

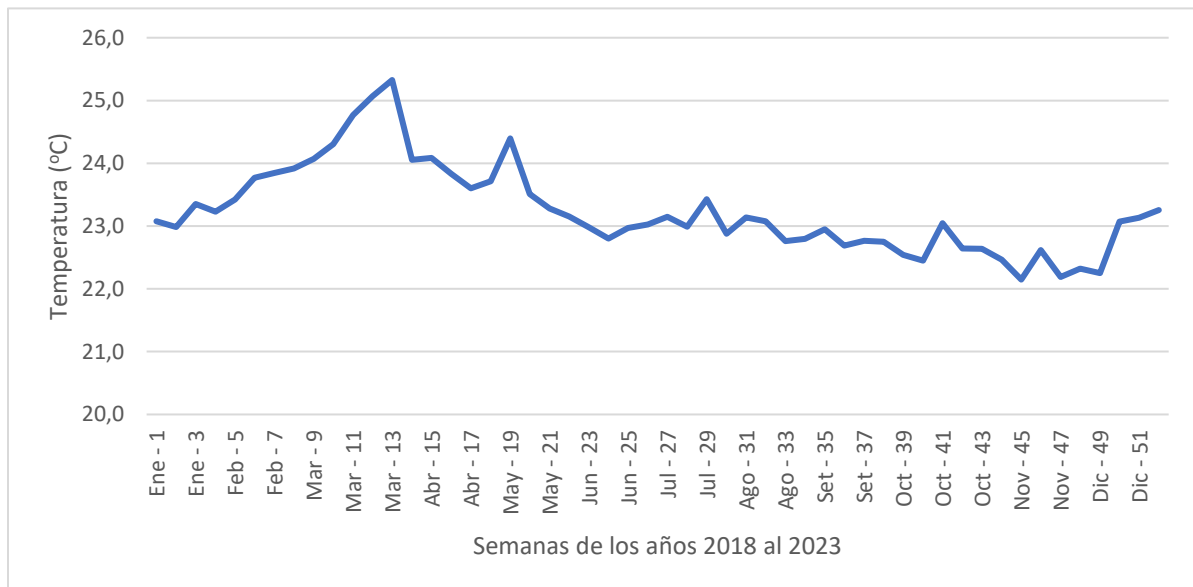


Figura 16. Temperatura semanal promedio en la zona Pérez Zeledón entre los años 2018 al 2023.

La radiación solar en la zona de Pérez Zeledón en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre fue donde se registraron los mayores valores, donde coincidió con la época de menor precipitación de esta zona entre los años 2018 al 2023. Los meses de abril a noviembre es donde se registraron los menores valores, esto coincidió con la época de mayor precipitación (Figura 17). Entre los años 2018 a 2023 se registró una radiación solar que oscilo entre 26.95 a 31.49 MJd/m² (Anexo 18).



Figura 17. Radiación solar semanal promedio en la zona de Bonita, Sinaí, San Isidro del General entre los años 2018 al 2023.

5.4.4 Zona Valle Central

El promedio de precipitación semanal (figura 18) en los años 2018 al 2023 los meses donde se presentó una menor precipitación fueron enero, febrero, marzo y diciembre, con valores que estuvieron entre 0.00 mm en febrero semana 6 como mínimo hasta 21.40 mm en marzo semana 11 como máximo.

En los meses de mayo a noviembre fueron donde se presentaron una mayor precipitación entre los años 2018 al 2023, con valores que estuvieron entre 14.30 mm en noviembre en la semana 47 hasta 133.80 mm en junio en la semana 23. La zona presenta ocho meses con mayor precipitación y cuatro meses con menor precipitación en estos años analizados.

La media de precipitación semanal en el año 2023 fue cuando presentó el mayor valor registrado de 84.00 mm en comparación con los otros años, mientras que, el menor valor fue en 2019 con 41.00 mm (Anexo 19).



Figura 18. Precipitación semanal promedio en la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.

La temperatura semanal de los años 2018 al 2023 osciló entre 20.00 a 23.00 °C el valor mínimo se dio en octubre en la semana 42 con un valor de 20.10 °C y el valor más alto fue de 22.10 °C en marzo en la semana 13 (Figura 19). La temperatura media osciló de 20.00 a 21.00 °C para esos años (Anexo 20).



Figura 19. Temperatura semanal promedio de la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.

Para la radiación solar en la zona de Valle Central los meses de enero, febrero, marzo y diciembre fue donde se registraron los mayores valores de radiación solar entre los años 2018 al 2023 coincidiendo con los meses donde se presentó una menor precipitación. En los meses de abril a noviembre es donde se registró el menor valor de radiación (Figura 20). Entre los años 2018 al 2023 se registró una radiación solar media entre 31.62 a 36.00 MJd/m² (Anexo 21).

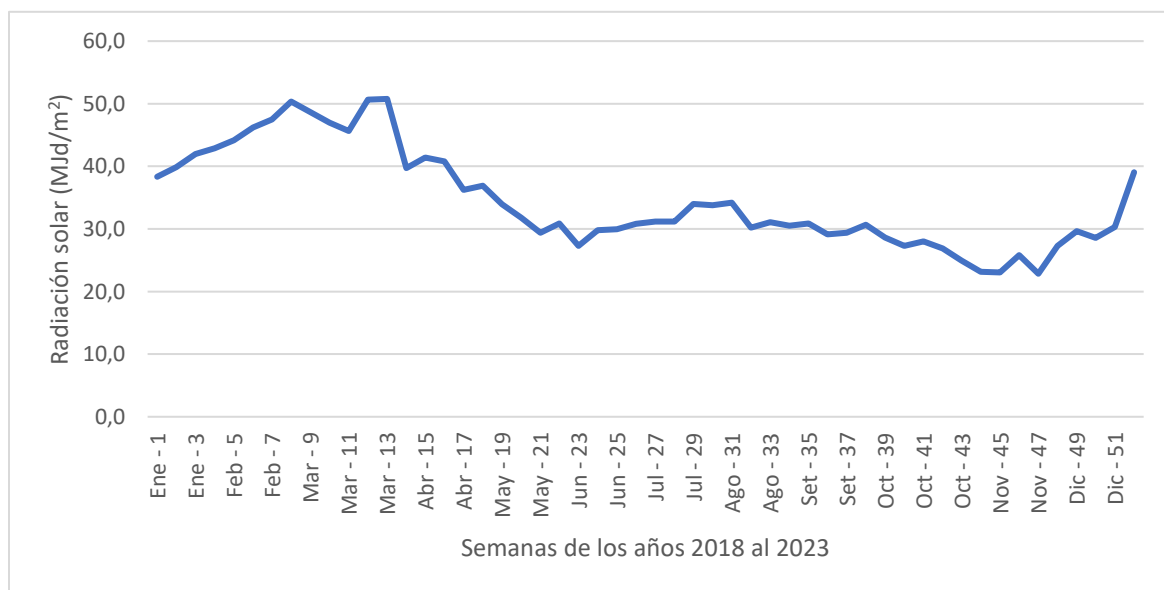


Figura 20. Radiación solar semanal promedio en la zona de Valle Central entre los años 2018 al 2023.

5.5 Determinación de la humedad

La humedad gravimétrica en los diferentes tratamientos presentó un rango desde 14.91 hasta 35.64% (Anexo 22). El cual se encuentra permitido en la norma técnica de producción de semillas de *Coffea arábica* del año 2011 (ONS, 2011).

5.6 Determinación de la pureza física

Para la variable de semilla pura se encontró una interacción doble entre los dos factores estudiados (variedad y zona). En la fracción de semilla pura el cultivar Catiguá MG2 presentó el mayor porcentaje (99.56%) en la zona de Pérez Zeledón en comparación con IAC Obatá 1669-20 que presentó menor porcentaje en las zonas de Coto Brus y Valle Central con diferencias de 0.54 y 0.56% respectivamente (Figura 21).

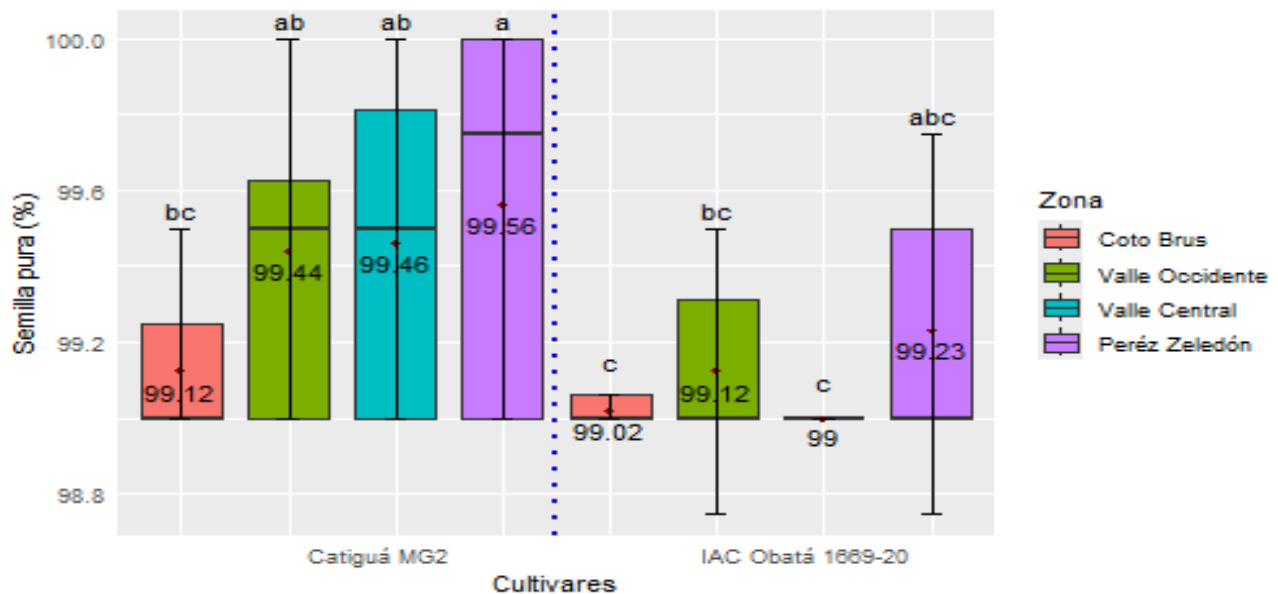


Figura 21. Porcentaje de la fracción de semilla pura determinada en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica

5.6.1 Material de descarte

Para el porcentaje de material de descarte (todo aquel material que no se consideró semilla como palos) también se encontró una interacción doble entre los factores analizados. Se encontraron valores mayores cuando la semilla de IAC Obatá 1669-20 fue colectada del Valle Central, Valle Occidente y Coto Brus, con respecto a la semilla de Catiguá MG2 para las mismas zonas, con

diferencias de 0.53, 0.41 y 0.44% respectivamente y Pérez Zeledón que presentó el menor valor (0.44%) (Figura 22).

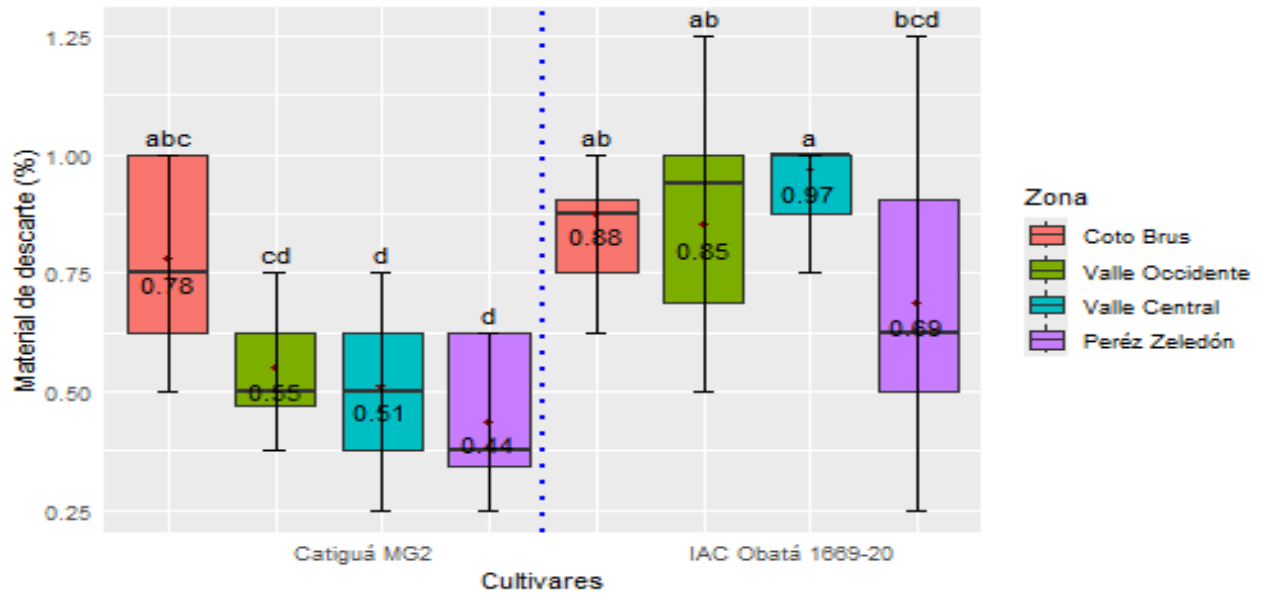


Figura 22. *Porcentaje de material de descarte en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.*

5.7 Tipo de semilla predominante por lote

5.7.1 Semilla normal

En el tipo de semilla normal también se determinó una interacción doble entre los factores estudiados, donde se presentó el valor más alto (90.75%) en el cultivar Catiguá MG2 de la zona de Coto Bus, que fue superior a la semilla de IAC Obatá 1669-20 producida en Coto Brus, Valle Occidente y Pérez Zeledón con diferencias de 2.75, 5.17 y 10.75% respectivamente (Figura 23).

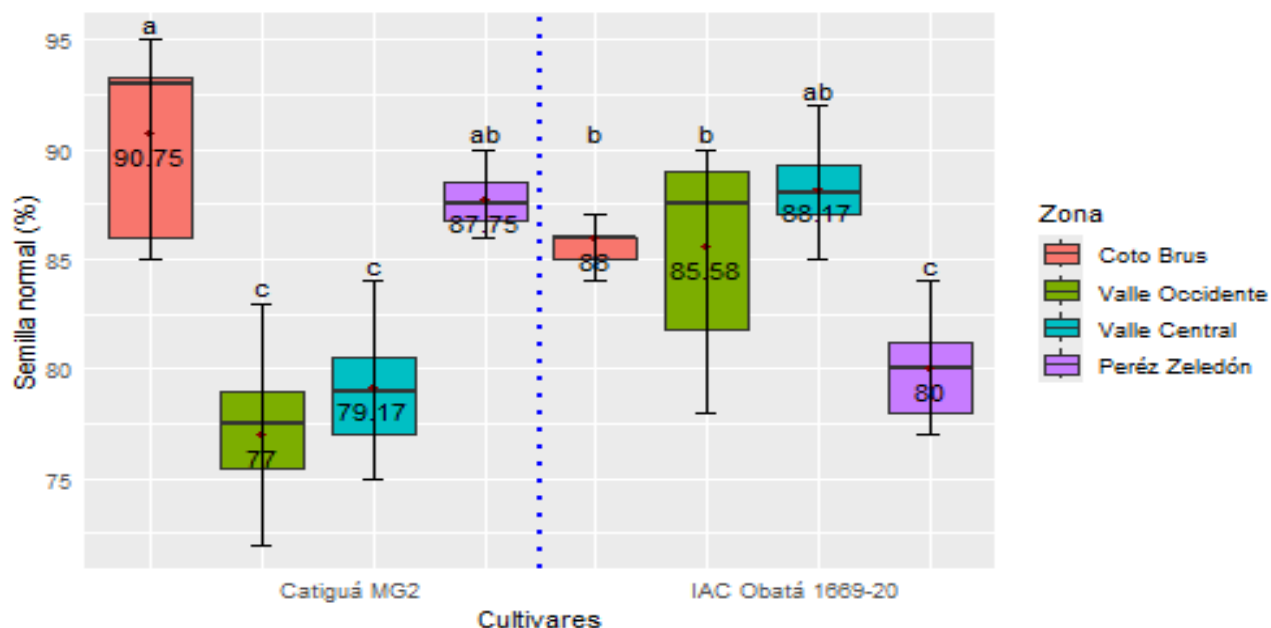


Figura 23. Porcentaje de semilla normal en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.7.2 Semilla caracolillo

En el tipo de semilla caracolillo se presentó una interacción doble entre los factores en estudio, el valor mayor (11.5%) se obtuvo en el cultivar Catiguá MG2 en la zona de Valle Occidente, superando en 3.67% a la semilla de Valle Central que fue la de mayor valor para el cultivar IAC Obatá 1669-20. La semilla cosechada en la zona de Coto Brus fue la que presentó menor valor para ambos cultivares, con una diferencia de 0.59% menor en el cultivar IAC Obatá 1669-20 (Figura 24).

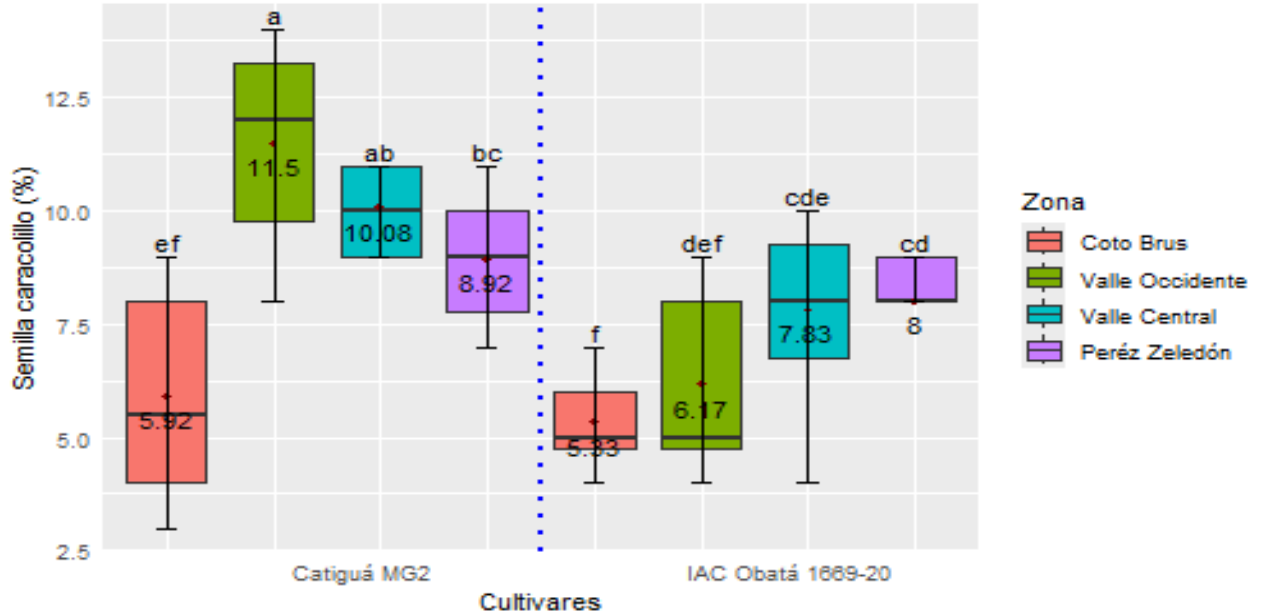


Figura 24. Porcentaje de semilla caracolillo en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.7.3 Semilla sin pergamino

En el tipo de semilla sin pergamino se presentó una interacción doble entre los factores (cultivar y zona). En la zona de Valle Central se presentó un 0.76% de semilla sin pergamino y fue el mayor valor obtenido para el cultivar IAC Obatá 1669-20, en el cual superó en 0.06% al Valle Central para el cultivar Catiguá MG2. Los valores para el cultivar Catiguá MG2 superaron el 0.13% de semilla sin pergamino, mientras que la semilla de Coto Brus del cultivar IAC Obatá 1669-20 presentó el menor valor (0.07%) (Figura 25).

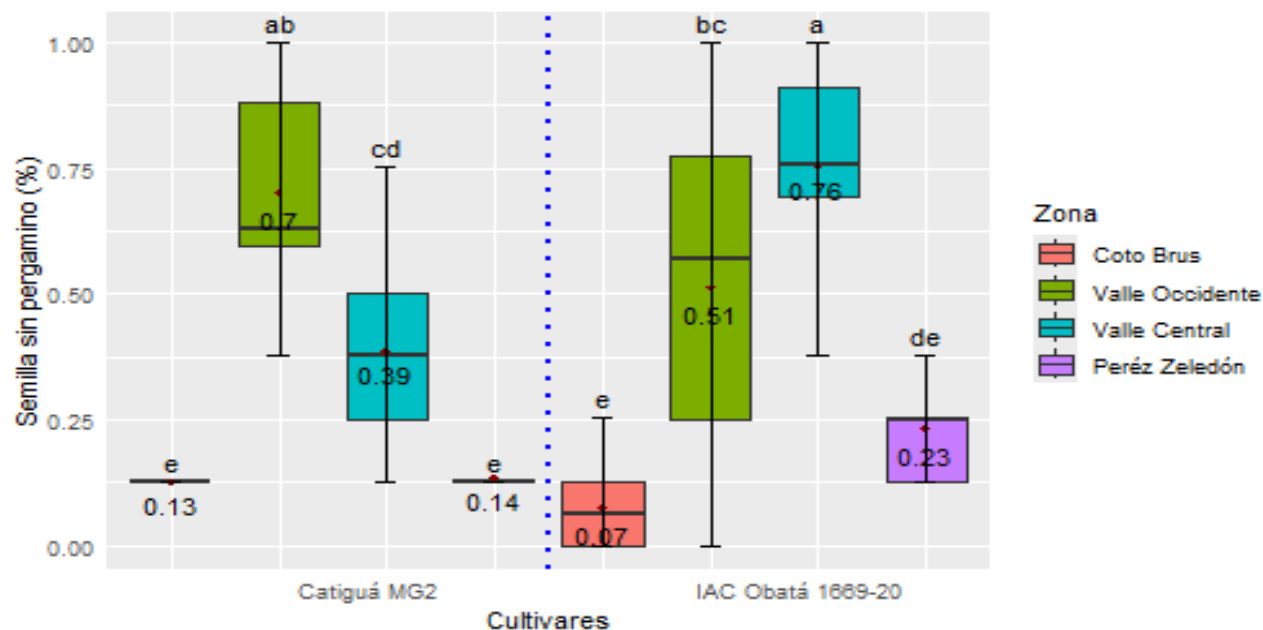


Figura 25. Porcentaje de semilla sin pergamino en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.7.4 Semilla con pergamino dañado

En el tipo de semilla con pergamino dañado se obtuvo una interacción doble entre los factores. Ambos cultivares coinciden en que los promedios de mayor valor fueron superiores a 4.25% en la zona de Valle Occidente y IAC Obatá 1669-20 superó a Catiguá MG2 en un 0.66% (Figura 26). Los porcentajes de este tipo de semillas para el cultivar IAC Obatá 1669-20 superaron el 1.83%, mientras que los valores de semilla de Coto Brus y Pérez Zeledón fueron inferiores en 0.71 y 1.37% con respecto al cultivar Catiguá MG2 (Figura 26).

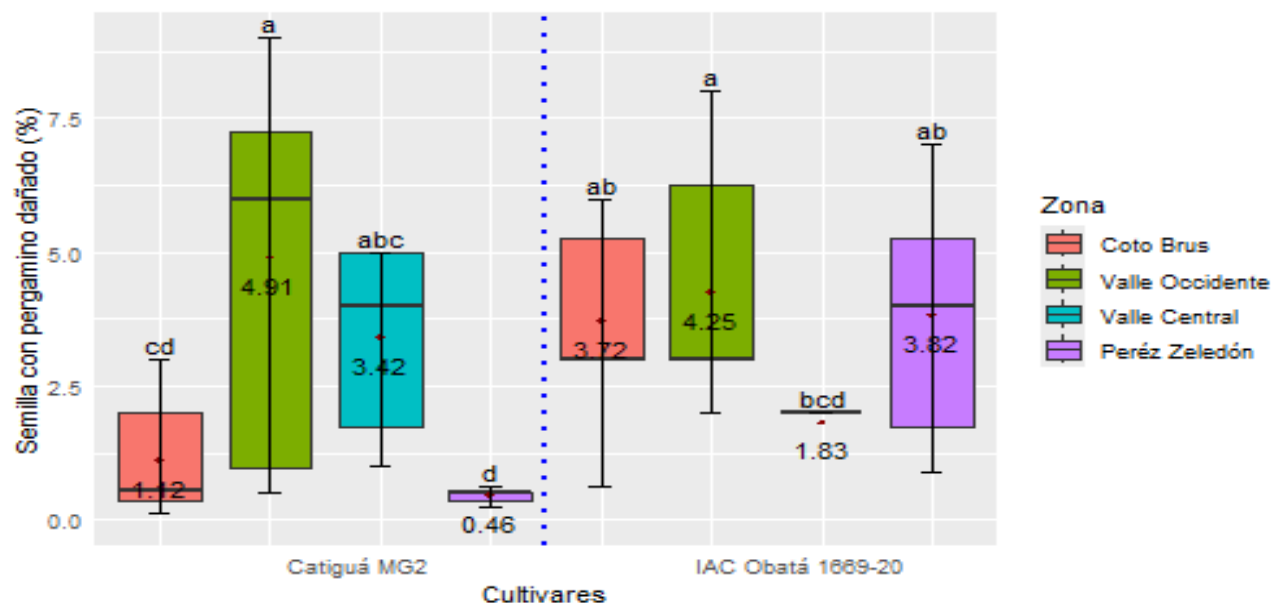


Figura 26. Porcentaje de semilla con pergamino dañado en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.7.5 Semilla bellota

En el tipo de semilla bellota se presentó una interacción doble entre los factores estudiados, se encontraron los mayores valores promedios (7.75% y 7.00%) en Pérez Zeledón y Valle Central en los cultivares IAC Obatá 1669-20 y Catiguá MG2, respectivamente. Para el cultivar Catiguá MG2 los valores fueron del 2.41% de semilla bellota y Coto Brus presentó el menor valor, mientras que el cultivar IAC Obatá 1669-20 en Valle Central obtuvo un 1.43% para esta variable, que fue el menor porcentaje obtenido entre los tratamientos (Figura 27).

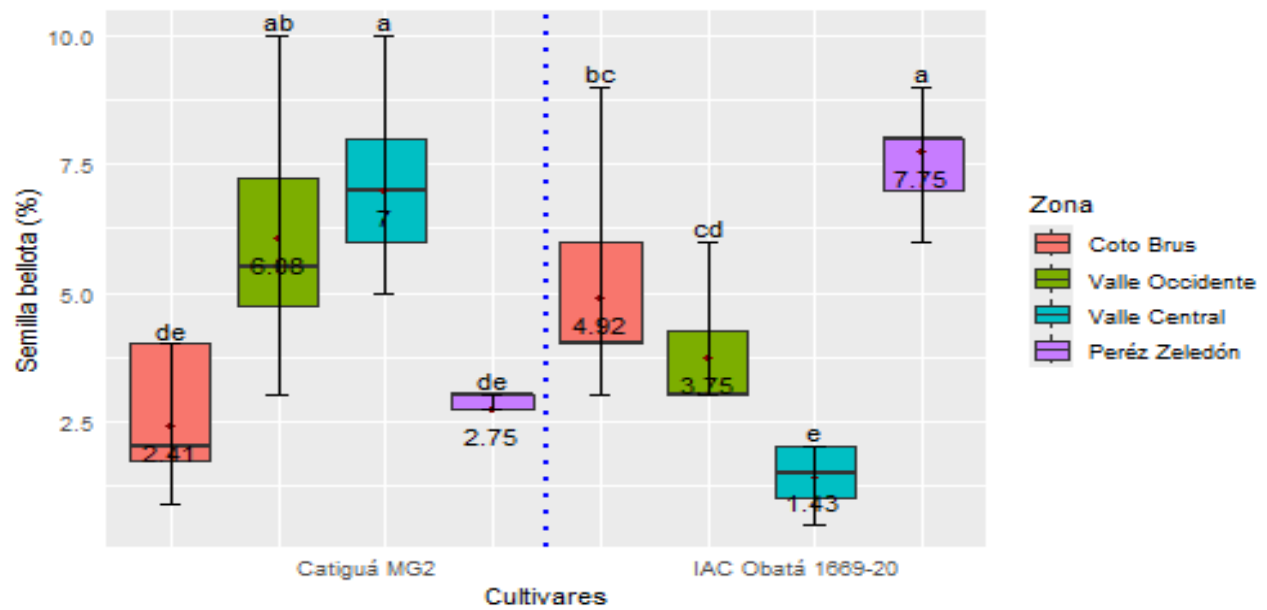


Figura 27. Porcentaje de semilla bellota a en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.8 Peso de mil semillas

En el peso de mil semillas, en la zona de Valle Central para el cultivar en IAC Obatá 1669-20 presentó el mayor valor con 289.14g, con una diferencia de 85,65g con respecto a Catiguá MG2 en la misma zona (Figura 28).

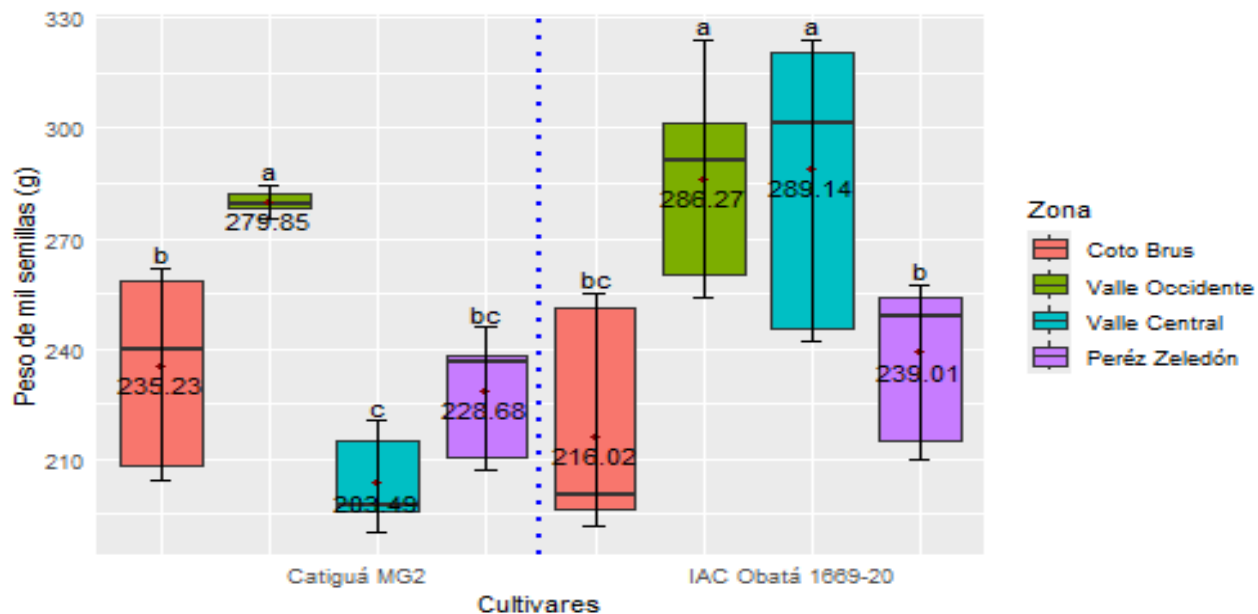


Figura 28. *Peso de mil semillas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.*

5.9 Prueba de germinación

Para la variable de germinación hubo una interacción doble entre los factores estudiados, en donde los valores mayores se presentaron en las zonas de Valle Central y Pérez Zeledón con 92.00% y 89.00%, respectivamente, para el cultivar Catiguá MG2 con una diferencia de 71.84 y 69.00%, respectivamente, con respecto a la semilla producida en Coto Brus de IAC Obatá 1669-20 que fue el tratamiento de menor porcentaje de germinación (Figura 29).

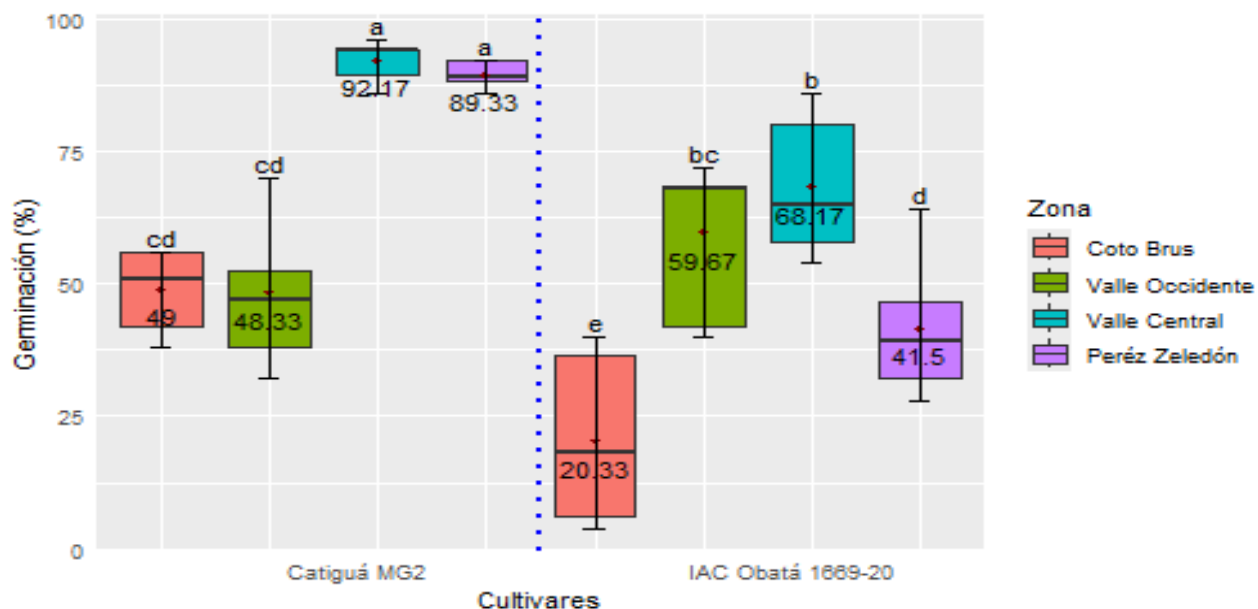


Figura 29. Porcentaje de germinación en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.9.1 Plántulas anormales

El mayor porcentaje de plántulas anormales se presentó en el cultivar IAC Obatá 1669-20 en la zona de Pérez Zeledón con un valor de 7.17%, con una diferencia de 5.50% con respecto a la semilla producida en Valle Central de Catiguá MG2, que fue el tratamiento con menor porcentaje de plántulas anormales (Figura 30).

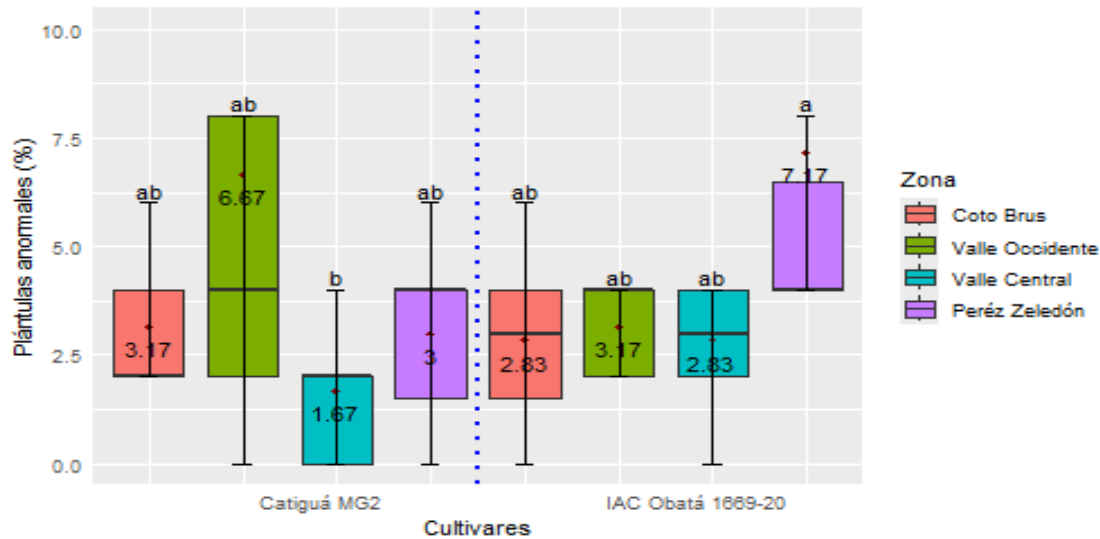


Figura 30. Porcentaje de plántulas anormales en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.9.2 Semilla no germinada

En el porcentaje de semilla no germinada el cultivar Catiguá MG2 presentó el mayor valor en la zona de Valle Occidente (15.33%) que fue superior a los valores de los demás tratamientos (Figura 31).

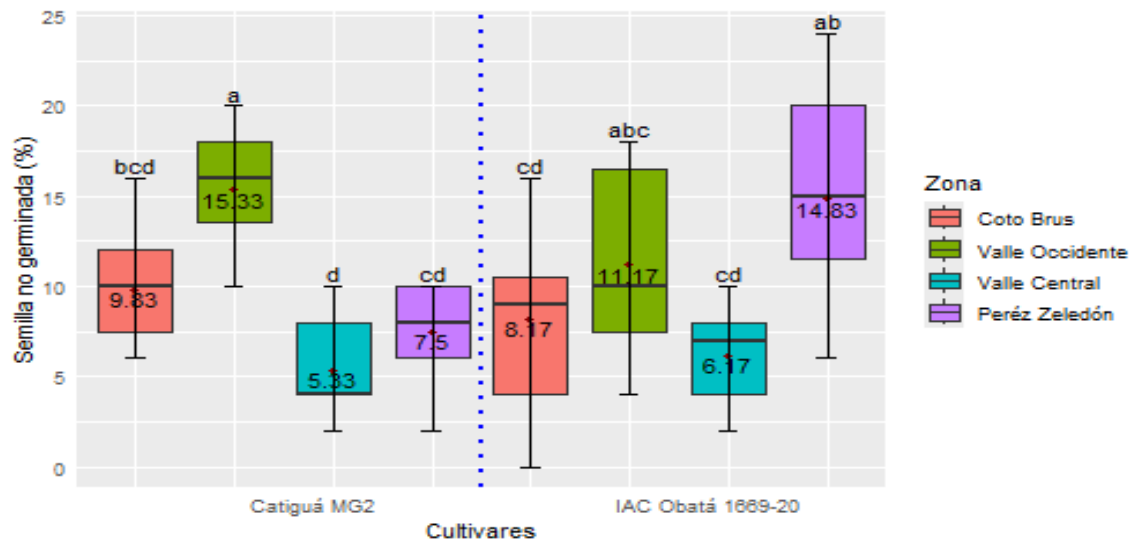


Figura 31. Porcentaje de semillas no germinadas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente Costa Rica.

5.9.3 Semillas muertas

En el porcentaje de semillas muertas el mayor valor (68.67%) se presentó en el cultivar IAC Obatá 1669-20 en la zona Coto Brus, que representó una diferencia de 30.37% con el segundo mayor valor que correspondió a la zona de Coto Brus para el cultivar Catiguá MG2 y con diferencias de 39.00, 67.84 y 68.50% con respecto a este mismo cultivares en las zonas de Valle Occidente, Valle Central y Pérez Zeledón respectivamente (Figura 32).

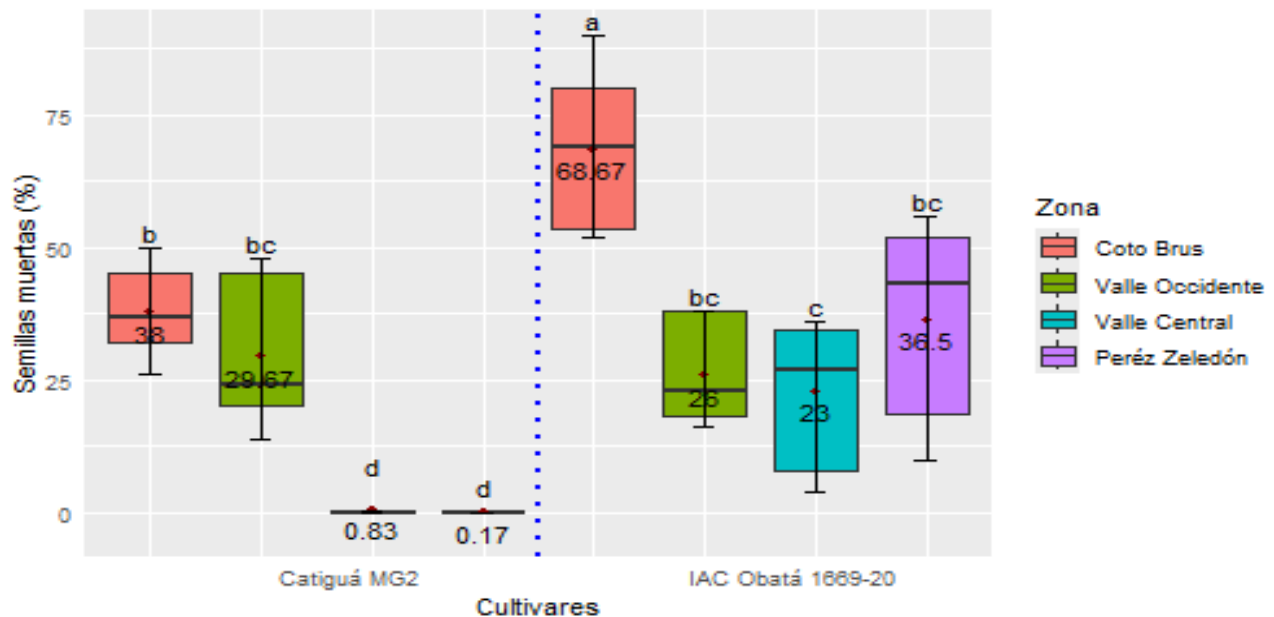


Figura 32. Porcentaje de semillas muertas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.10 Prueba de emergencia de plántulas en invernadero.

En el porcentaje de emergencia de plántulas, se dio una interacción doble entre las variables estudiadas. El cultivar Catiguá MG2 presentó el mayor porcentaje de plántulas emergidas con un valor 65.33% en Pérez Zeledón, mientras que, el cultivar IAC Obatá 1669-20 presentó el menor valor 13.33% en Coto Brus. La semilla de Catiguá MG2 de Pérez Zeledón superó el porcentaje de

emergencia del cultivar IAC Obatá 1669-20 en las zonas de Valle Occidente, Valle Central y Pérez Zeledón con valores de 27.66, 30.00 y 42.50% respectivamente (Figura 33).

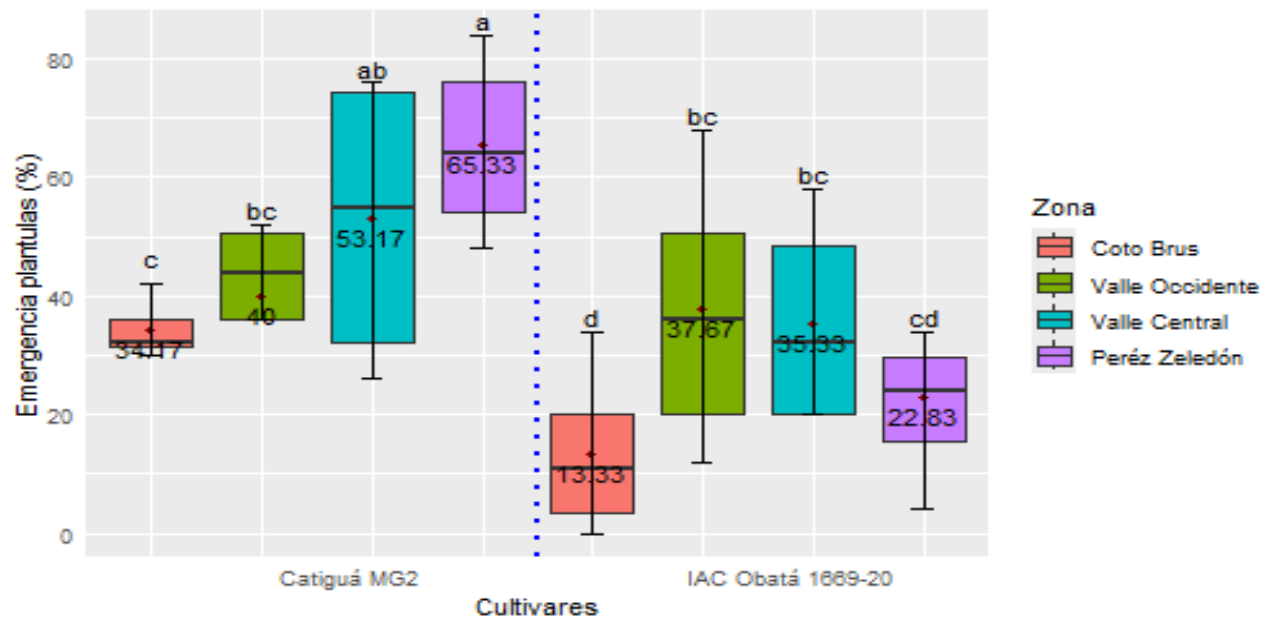


Figura 33. Porcentaje de emergencia en invernadero en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.

5.11 Longitud de plántulas y raíz

En la altura de plántulas se presentó una interacción doble entre los factores estudiados. El cultivar Catiguá MG2 en Pérez Zeledón obtuvo la mayor longitud (5.12 cm) en comparación con el cultivar IAC Obatá 1669-20 que presentó valores inferiores de 0.89, 0.83 y 1.29 cm en las zonas de Coto Brus, Valle Central y el mismo Pérez Zeledón. (Figura 34).

Por otra parte, para la variable de longitud de raíz no se presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

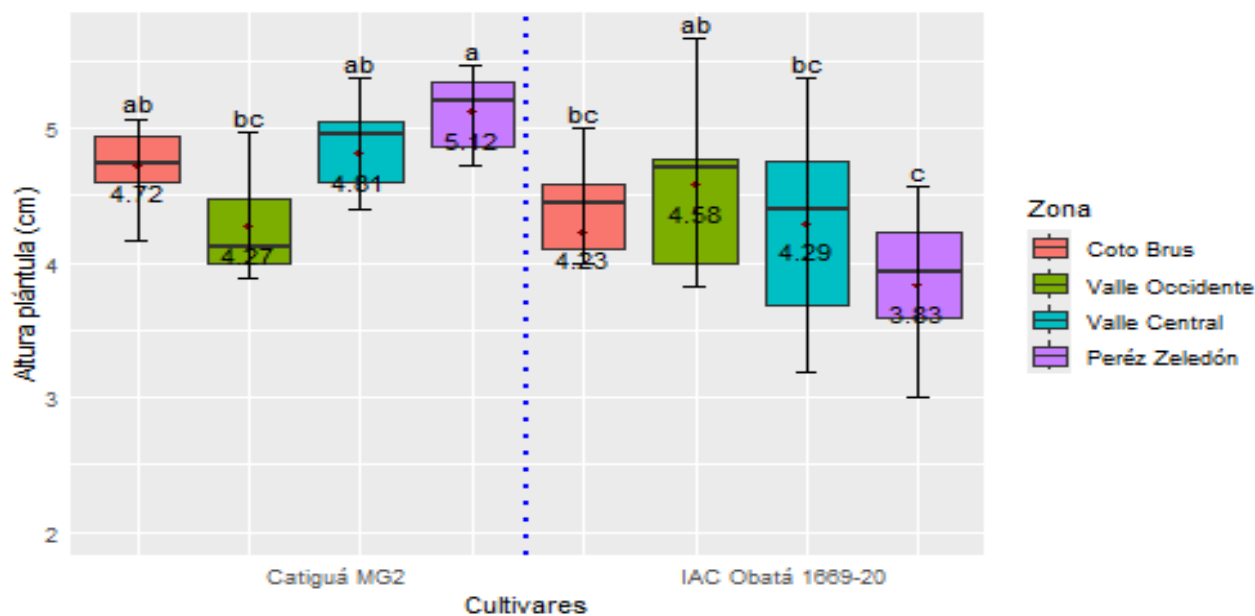


Figura 34. *Altura de plántulas en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.*

5.12 Peso seco de plántulas (parte aérea y raíz)

En el peso seco de la parte aérea se presentó una interacción doble entre los factores estudiados. El cultivar Catiguá MG2 obtuvo el mayor peso seco (16.61 mg) en Coto Brus con respecto al cultivar IAC Obatá 1669-20 en la zona de Valle Central y Pérez Zeledón con diferencias de 3.99 y 6.09 mg (Figura 35).

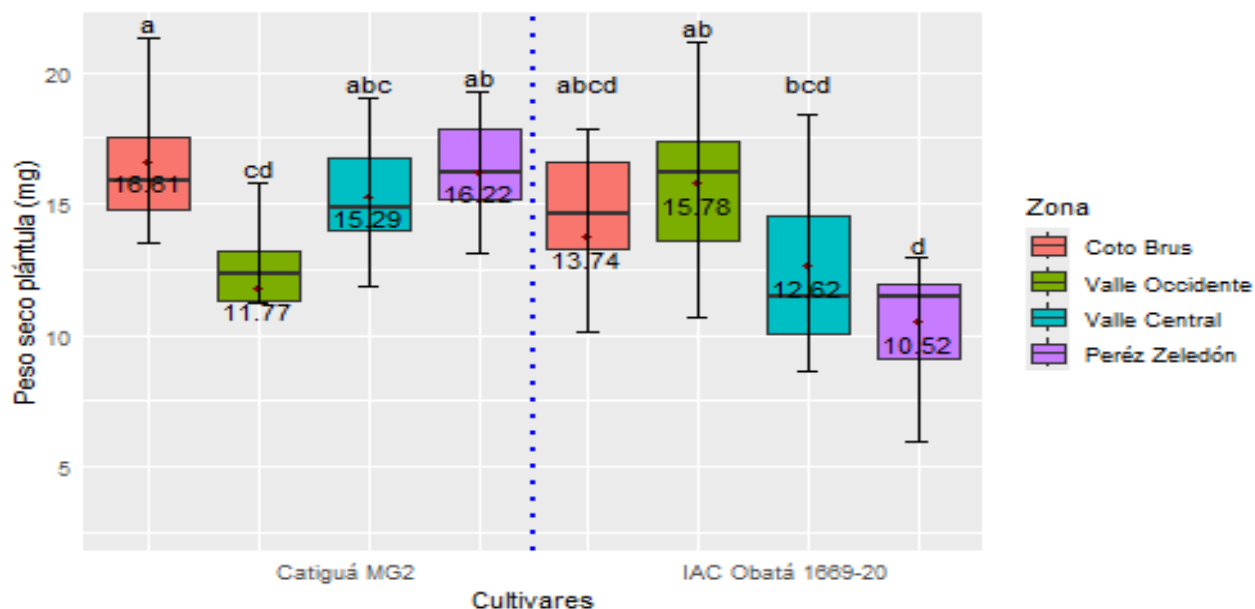


Figura 35. *Peso seco de plántulas parte aérea en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.*

En el peso seco de la raíz se presentó una doble interacción de los factores (cultivar y zona). El cultivar IAC Obatá 1669-20 presentó mayor peso que Catiguá MG2 cuando fueron producidas en Valle Occidente con una diferencia de 5.65 mg.

La misma variedad IAC Obatá 1669-20 presentó un mayor peso seco de la raíz cuando la semilla fue producida en Valle Occidente con respecto a Pérez Zeledón, con una diferencia de 5.69 mg (Figura 36).

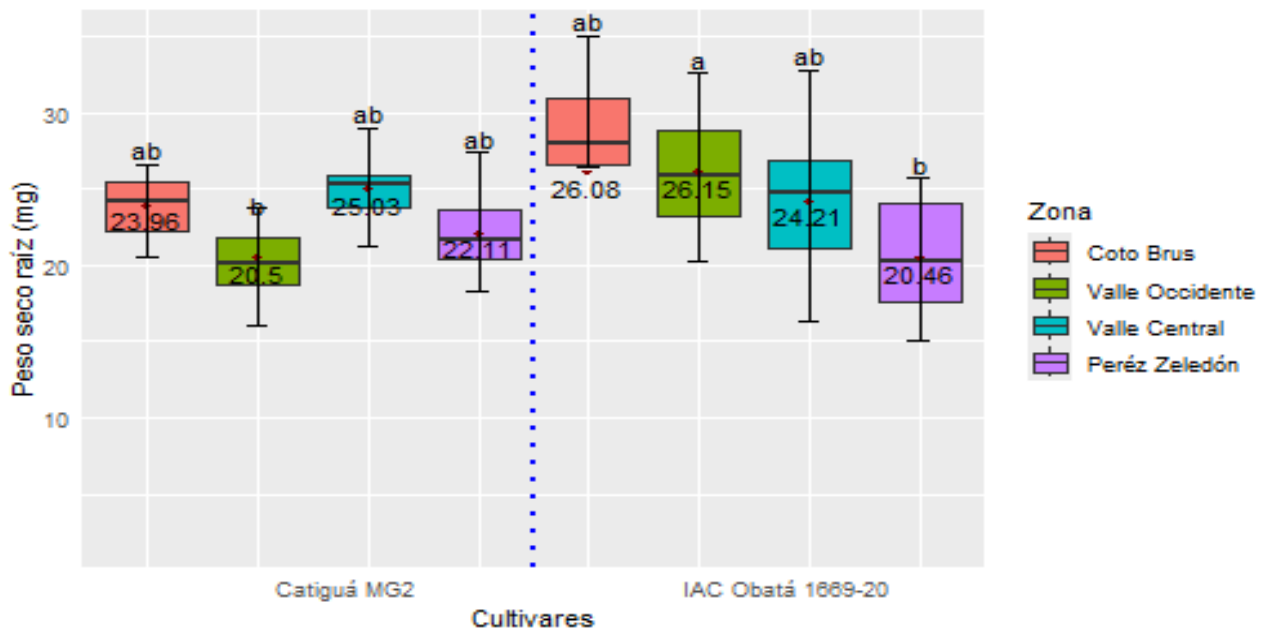


Figura 36. *Peso seco de raíz en lotes de semillas de café de los cultivares Catiguá MG2 y IAC Obatá 1669-20, cosecha 2023-2024, en las zonas productoras de Coto Brus, Pérez Zeledón, Valle Central y Valle Occidente, Costa Rica.*

6. Discusión

6.1 Procesamiento de las semillas

Según la Oficina Nacional de Semillas en el Reglamento Técnico para la Certificación de Semilla de Café (ONS, 2011) en cuanto a la cosecha, traslado y procesamiento de la semilla de los lotes certificados en este trabajo se siguió con lo establecido en ese reglamento. Los valores obtenidos en las pruebas de grano verde, vano, seco y brocado se encontraron dentro de los parámetros establecidos en esta norma, en donde se indica que para grano verde el valor máximo permitido es 1.00% y en grano vano y seco es un 5.00%. En grano brocado lo establecido es un 2.00% y los lotes se encontraron entre los valores permitidos (Anexo 1), por ende, se cumplió con los requisitos en el área de recibo de la fruta en el beneficio.

En la prueba de granos por litros (Anexo 1) los resultados coincidieron con lo reportado por Siqueira (2008), quién detalla que en el caso del cultivar IAC Obatá 1669-22 al tratarse de una semilla de tamaño grande es normal y esperable obtener valores menores en la cantidad de granos

por litros. Por el contrario, el cultivar Catiguá MG2 tiene una característica de semilla pequeña por lo cual se contabilizó un mayor número de granos por litro, lo que es correcto según Siqueira (2022).

6.2 Caracterización de suelos de las fincas productoras de la semilla cosecha 2023-2024

Los resultados de los análisis de las características físicas y químicas de cada horizonte de los lotes utilizados para la producción de semillas permitieron identificar dos órdenes de suelo, Andisol (localizado en las regiones del Valle Central, Valle Occidente y Coto Brus) y el Ultisol (localizado en Pérez Zeledón), de acuerdo con el sistema de clasificación de suelos de la USDA (2006).

El suelo de la zona de Coto Brus se clasificó en el Orden de Andisol por las características que presenta, con un epipedón hístico, una capa de profundidad entre 40.00 y 50.00 cm a partir de la superficie del suelo mineral o a partir de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo (origen volcánico), un color del valúe en húmedo de 4 USDA (2006). También los suelos del orden Andisol son derivados de materiales volcánicos y se han encontrado en diferentes partes del país donde se han presentado deposiciones volcánicas arrastradas por un río, según el Instituto de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) (2015). Se clasificó en el suborden Udands, ya que presentó características, como un horizonte plácico dentro de los 100.00 cm desde la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo, en la mitad o más de cada pedón (USDA, 2006).

En la clasificación del gran grupo por sus características fue designado como un Hapludands los cuales tienen un contacto lítico dentro de los 50.00 cm de la superficie del suelo mineral o de la parte superior, que es una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo USDA (2006). En el subgrupo su clasificación fue un Ultic Hapludands esto debido a un horizonte argílico o kándico que tiene su límite superior dentro de los 125.00 cm desde la superficie del suelo mineral USDA (2006).

En la parte química de los resultados de laboratorio, la zona de Coto Brus presentó niveles suficientes de Ca en dos horizontes y en los restantes fueron deficientes. En ningún horizonte se encontraron con los niveles suficientes de P. En K tres horizontes presentaron niveles suficientes y el restante en el nivel crítico, según lo reportado por Cabalceta y Molina (2006) para niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica.

El suelo de la zona del Valle Occidente se clasificó en el orden Andisol, suborden Ustands, ya que más del 75.00% de cada pedón presentó un horizonte cementado, el cual tiene su límite superior dentro de los 100.00 cm de la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica que posee propiedades ándicas (USDA, 2006). La misma zona se clasificó como gran grupo Hapludands por presentar un contacto lítico dentro de los 50.00 cm de la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo (USDA, 2006). También, se clasificó del subgrupo Typic haplustands porque presentó profundidades de 120.00 cm (Sancho et al., 2005).

En la zona de Valle Occidente los resultados de los análisis químicos del laboratorio determinaron que el nivel de Ca no se encontró en los niveles suficientes en ninguno de los horizontes. En el P dos horizontes se encontraron en niveles suficientes y los otros se encontraron en niveles deficientes. En el K tres horizontes obtuvieron los niveles suficientes, mientras que, los restantes estuvieron en el nivel crítico (Cabalceta y Molina, 2006).

El suelo de la zona del Valle Central se clasificó en el orden de Andisol, suborden de Ustands, y gran grupo Hapludands. También se identificó como subgrupo Dystric Haplustands por que presentó características como un horizonte óxico que tiene su límite superior dentro de los 125.00 cm desde la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo (USDA, 2006).

En la zona de Valle Central en los resultados químicos de laboratorio el nivel de Ca encontrado no fue suficiente en los horizontes por lo cual el plan nutricional del cultivo se debe complementar con una enmienda. En el P solamente dos horizontes estuvieron en el rango de nivel suficiente. El K en un horizonte estuvo en el nivel suficiente, mientras que, los otros tres estuvieron en niveles altos esto según Cabalceta y Molina (2006) para niveles críticos nutrimentos en suelos de Costa Rica.

En el orden Andisol en las regiones de Valle Central, Valle Occidente y Coto Brus se presentó un rango de fijación en fósforo de 75.00 a 95.00% de retención lo cual concuerda con lo mencionado por el INTA (2015) sobre la descripción de la retención del P en este orden de suelo. El INTA (2015) detalla que la arcilla haloisita es la encargada de brindar la coloración pardo amarillento (Anexo 3) en uno o varios horizontes. La caolinita brinda los colores pardos y rojizos

(Anexo 4) en uno o varios horizontes de este tipo de orden, lo que coincide con lo mencionado por el INTA (2015). En la densidad aparente de las zonas del orden Andisol el 85.00% de los horizontes presentaron valores menores a 1.00 g/cm^3 y el restante 15.00% mayores a este, conforme reportó el INTA (2015) para este tipo de orden de suelo, en donde se encuentran valores de densidad aparente baja.

El suelo de la zona de Pérez Zeledón se clasificó en el Orden de Ultisol, ya que presentó características que tienen condiciones de inundación o presencia de mucha precipitación por algún tiempo en años normales en uno o más horizontes dentro de los 50.00 cm de la superficie del suelo mineral, rasgos redoximórficos en todas las capas entre la parte inferior de un horizonte Ap o una profundidad de 25.00 cm de la superficie del suelo mineral. El INTA (2014) detalló que por sus propiedades es el suelo más meteorizado del país, su principal característica es la formación de un horizonte argílico (acumulación de arcilla iliviada). La coloración característica se debe al principal grado de hidratación del Fe, el cual, en su forma oxidada confiere tonalidades pardo rojizas o amarillentos (Anexo 5). Además, en este tipo de orden predominan arcillas tipo 1:1 y óxidos de Fe y Al.

Por sus características el suelo de Pérez Zeledón también se clasificó en el suborden Humults porque presentó un horizonte sómbrico dentro de los 100.00 cm de la superficie del suelo mineral (USDA, 2006). En el gran grupo su clasificación fue de un Palehumults porque en años normales estos suelos están saturados con agua en una o más capas dentro de los 100.00 cm de la superficie del suelo mineral. También, se clasificó en el subgrupo Ustic Palehumults porque tiene las características de un régimen de humedad xérico (USDA, 2006).

En la zona de Pérez Zeledón de acuerdo con los resultados químicos del laboratorio el nivel del P se encontró en un nivel suficiente. Mientras que el Ca solamente se encontró en un horizonte en el nivel suficiente. En el caso de Mg solamente dos horizontes estaban en los niveles suficientes. En el K no se presentaron los niveles suficientes en ningún horizonte, lo cual concuerda con lo reportado por Cabalceta y Molina (2006) para este tipo de suelo.

De forma general, los niveles nutricionales de los suelos de las zonas de este estudio son propicios para el cultivo del café, sin embargo, cada finca debe adaptarse al nivel de producción y la cantidad de nutrientes extraídos (Anexo 7), en concordancia con la guía del cultivo de Café ICAFE (2020).

6.5 Datos Climáticos de las diferentes Zonas en estudio

Las precipitaciones observadas en las zonas de estudio se encontraron dentro del rango adecuado para el desarrollo del cultivo de café, ya que los valores fueron superiores a los 1,000.00 mm anuales y de acuerdo con la guía técnica del cultivo (ICAFFE, 2020) y Rojo (2014) ese es el valor mínimo para un adecuado desarrollo de esta especie. Se ha verificado que precipitaciones menores pueden causar un estrés hídrico que limita el crecimiento de la planta, afecta el desarrollo de las semillas y eventualmente la calidad de la cosecha (Córdoba et al, 2020). Sin embargo, es importante indicar que Pérez Zeledón y Coto Brus presentaron valores de precipitación superiores a los 3,000.00 mm anuales, los cuales se consideran niveles normales para esas zonas según el Instituto Meteorológico Nacional (2000), pero que pueden afectar la calidad fisiológica de la semilla porque aumentan los problemas sanitarios, hay lavado de suelos y arrastre de nutrientes que afectan el nivel nutricional del cultivo (Córdoba et al, 2020).

En cuanto a la temperatura, los valores registrados en todas las zonas de estudio se encontraron dentro de los 15.00 a 25.00 °C, lo cual se considera como óptimo para la producción de café (Rojo, 2014; Vignola et al, 2018; ICAFFE, 2020).

Por otra parte, el comportamiento de la radiación solar fue el normal y esperado de mayo a junio, que es cuando generalmente se establece la época lluviosa de nuestro país y también durante la estación seca (de enero a abril y diciembre), que fue cuando se registraron los valores de mayor radiación, lo que coincide con los datos informados por Wright (2008). Además, el CENICAFE (2005) reportó datos de radiación en el cultivo del café desde los 13.00 MJd/m² hasta los 36.13 MJd/m², los cuales son similares a los encontrados en esta investigación.

Por su posición geográfica, Costa Rica es muy propenso a recibir alta radiación solar (ICAFFE, 2020). Que provoca en el cultivo que las hojas externas de la planta eleven su temperatura sobre el aire (Jaramillo, 2005), por lo que es recomendable contar con árboles que den sombra en las plantaciones (Farfán, 2020). En este aspecto en particular las fincas utilizadas en este trabajo todas contaban con sombra, con el propósito de evitar altos niveles de radiación en el cultivo, por lo que posiblemente la radiación no fue un factor que influyera en la calidad de las semillas en las zonas de estudio de este trabajo.

6.7 Determinación de la pureza física

En el porcentaje de pureza física los distintos tratamientos obtuvieron valores superiores a 99.00%, lo cual se considera un valor óptimo de calidad física para un lote de semillas (Silva, 2003; RAS, 2009), además de la nula presencia de granos con broca viva como lo indica el reglamento técnico de la ONS (2011), por lo que los lotes utilizados para este trabajo cumplieron con la calidad física. Además, Silva (2003) encontró valores de material de descarte en semilla de café (como palos, estos son fragmentos de bandola) en un ámbito de 0.97 a 0.44%, los cuales fueron muy similares a los observados en este trabajo.

6.8 Tipo de semilla predominante en el lote

El tipo de semilla normal fue el de mayor valor porcentual encontrados en este trabajo y coincidió con los valores observados por Silva (2003) en su estudio del beneficiado de semillas, en Brasil, donde se obtuvieron valores superiores al 77.00%. De acuerdo con Velásquez (2021) en su guía de variedades de la Asociación Nacional de Café de Guatemala, lotes con altos porcentajes de semillas normales presentan mayor calidad que aquellos que presentan semillas anormales, ya que esta últimas perjudican la producción eficiente de plantas. También se determinó que los valores para la semilla de tipo caracolillo fueron similares a los reportados por Del Porte (2021) en México en su investigación de dos cultivares de café, en donde obtuvo valores desde un 3.00 a 20.00% de semilla caracolillo y también los resultados de Moreno (2002) en Colombia, que obtuvo valores de 7.00 a 8.00% de semilla caracolillo en cuatro cultivares, estos datos son similares a los resultados obtenidos en esta investigación, donde se presentaron valores entre 5.00 a 11.00%.

En el tipo de semilla sin pergamino se obtuvieron valores menores a 0.76%, también en el tipo de semilla con pergamino dañado se presentaron valores menores a 4.91%. Estos valores fueron menores que los encontrados por Silva (2003), quien obtuvo un 8.00% en cada uno de estos tipos de semillas. Para la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (2017), en el manual para la producción de semillas, indica que este tipo de semilla dañadas, con o sin pergamino, se deben separar ya que influyen en la pureza y finalmente en la calidad de las plantas desarrolladas.

En la semilla de tipo bellota se registraron valores que estuvieron en un rango de 1.43% a 7.75%, que fueron mayores a los reportados por Silva (2003), que obtuvo un 0.50%. Su estudio consistió en semillas de frutos enteros cuyo exocarpo no se eliminó en el proceso de despulpado.

Para el CENICAFE (1995) un porcentaje mayor a 3.00% en semillas tipo bellota puede influir en la calidad de un lote, por lo que cinco tratamientos de esta investigación, en este aspecto, son considerados de calidad inferior, ya que presentaron valores superiores al 3.00%

6.9 Peso de mil semillas

En el peso de mil semillas el cultivar Catiguá MG2 en el Valle Central y el cultivar IAC Obatá 1669-20 en la zona de Valle Occidente y en la zona de Valle Central presentaron el mayor peso de semillas, lo que evidencia un efecto de la zona en ambos cultivares lo cual coincide con lo reportado por Del Porte (2021), quien encontró diferencias en el peso de mil semillas de dos cultivares de *Coffea arábica*, donde indica que el peso de mil semillas está influenciado por el origen genético del material y lugar de procedencia por el factor ambiente.

En el cultivo de maíz se ha determinado que el peso de mil semillas está influenciado por la genética y el ambiente donde se encuentran sembrados los genotipos (García, 2009; Torres et al 2010). Además, Dewantier et al. (2020) en el sur de Brasil, concluyeron con tres genotipos de maíz que el peso de mil semillas está influenciado por la genética y el sitio donde se desarrolle el cultivo.

6.10 Prueba de germinación

En esta prueba se evidenció que solamente la semilla producida en el Valle Central y Pérez Zeledón de la variedad Catiguá MG2 superó el 80.00% de germinación, el cual es el valor mínimo establecido por la Oficina Nacional de Semilla (ONS, 2022) para certificar y permitir la comercialización de semilla certificada de este cultivo en el país. También los resultados demostraron una baja germinación en el cultivar IAC Obatá 1669-20, independientemente de la zona donde se produjo la semilla, lo que evidenció una mayor sensibilidad de este cultivar para producción de semilla de alta calidad. Estos resultados son similares a los reportados por Acosta (2022), en donde para este cultivar obtuvo valores de un 10.70%.

De acuerdo con Acosta (2022) la genética de los distintos cultivares puede tener influencia en la respuesta de las plantas a la producción de la semilla de alta calidad y que cumplan estándares para la comercialización, donde se pueden encontrar diferencias en la germinación de más de un

50.00% entre diferentes cultivares. Esto también coincide con lo reportado por González et al (2020) en su estudio de germinación de especies arbóreas maderables, en donde encontraron diferencias de germinación de hasta un 70.00% entre genotipos de la misma especie. Esto demuestra que la producción de semilla tiene alto componente genético y efecto del ambiente, en donde el café no queda excluido de esta respuesta.

Además, según Malau et al. (2018) en su investigación también se pueden dar diferencias en la germinación según la zona de procedencia de la semilla debido a la influencia de la precipitación, en donde las zonas de menor germinación coinciden con aquellas zonas de menor precipitación, lo cual se observó en este trabajo, donde las zonas de mayor precipitación distribuidas durante el año fueron las zonas de Valle Central y Pérez Zeledón, que presentaron germinación superior para el cultivar Catiguá MG2.

Varios autores coinciden en la influencia del genotipo y el ambiente en la germinación de la semilla, sin embargo, para efectos de este trabajo no podemos determinar si el manejo de los lotes presenta influencia en este rubro, ya que los lotes fueron manejados de la misma manera apegados a la guía técnica del ICAFE y formar parte del programa de semilla.

6.10.1 Plántulas anormales

En esta investigación se obtuvieron valores que estuvieron entre 1.70 y 7.20% de plántulas anormales para los diferentes tratamientos, los cuales se consideran valores bajos para este rubro, ya que otra investigación como la de Silva (2003) en su investigación en procesamiento en semillas de café reporta como bajos valores entre el 1.00 y 12.00%, valores intermedios de 1.60% a 21.60% (Mora et al., 2007) y valores altos del 23.00% al 32.00% en el cultivo de maíz (Zamudio et al., 2014). A pesar de que la zona Valle Occidente presentó el valor de plántulas anormales (7.20%) más alto, este dato se puede considerar bajo.

6.10.2 Semilla no germinada o dura

En el estudio de Silva (2003) se presentaron valores de semilla no germinada que iban del 5.00 al 31.00%, en donde este último valor fue considerado como alto. Por lo que los resultados de esta investigación se pueden considerar de bajos a intermedios ya que ningún tratamiento fue cercano al valor máximo para este parámetro de calidad.

Para Acosta (2022) la relación entre la germinación de la semilla y aquella que no germina puede estar influenciada por el potencial genético de la semilla, En este caso, para la zona de Pérez Zeledón el cultivar Catiguá MG2 y Valle Central para ambos cultivares fueron los de mayor valor de germinación y menor porcentaje de semilla no germinada, lo cual muestra que estas poseen un mayor potencial genético en este trabajo.

6.10.3 Semilla muerta

Altos valores de semilla muerta pueden afectar la calidad de un lote y no cumplir con el porcentaje establecido por la ONS (2011) de una germinación mínima del 80.00%. En el estudio realizado por Silva (2003) se encontraron valores de semillas muertas que iban del 6.00 al 27.00%, los cuales coinciden con los resultados obtenidos en este estudio para el cultivar IAC Obatá 1669-20 para las zonas de Valle Occidente y Valle Central con valores considerados altos, mientras que, en el cultivar Catiguá MG2 de las zonas de Valle Central y Pérez Zeledón, se encontraron valores menores que los reportados por Silva (2003) que indican mayor calidad fisiológica de las semillas.

6.11 Prueba de emergencia de plántulas en invernadero

La emergencia de las plántulas en el invernadero, independientemente del cultivar o la zona no superó el 65.33%, a los 60 días después de la siembra, lo que evidenció un bajo vigor de la semilla de todos los lotes certificados para la producción de semilla. Similar a lo ocurrido en el porcentaje de germinación en el laboratorio, la semilla producida en Pérez Zeledón del cultivar Catiguá MG2 fue superior al IAC Obatá 1669-20, especialmente al compararse con la zona de Coto Brus, lo cual sugiere que la producción de semillas de café debe realizarse según la variedad por zonas para obtener la calidad que se requiere para el mercado nacional.

En el estudio realizado por Acosta (2022), en nueve cultivares de café, se observó un comportamiento similar a lo obtenido en este trabajo, en donde el porcentaje de emergencia de las plántulas se vio fuertemente influenciado por el genotipo, en donde se reportaron valores de 5.00 al 57.00%. También, Côrtes (2021) en su investigación de emergencia de plántulas de café obtuvo un resultado que oscilaron entre un 4.00% y 62.00% de emergencia en diferentes cultivares, similar a lo encontrado en esta investigación e indicó que la emergencia puede estar relacionado al cultivar y a la zona donde se produjo la semilla, debido a las condiciones climáticas o microclimas que se pueden presentar en cada localidad y el tipo de suelo de las plantaciones. Así mismo, Alves (2005) menciona que en el cultivo de *Mimosa caesalpinifolia* la emergencia de plántulas y la germinación

se ven influenciadas por el lugar de procedencia de las semillas. Por lo tanto, efectivamente existe un efecto del ambiente de la zona sobre los cultivares y la calidad de la semilla producidas, sin embargo, es difícil determinar por medio de los resultados de esta investigación exactamente cuál es el factor más influyente y se requiere mayor experimentación a futuro para determinar cuáles son los principales factores que están afectando la calidad de las semillas.

6.12 Longitud de plántulas y raíz

La longitud de las plántulas en la zona de Valle Central y Pérez Zeledón para el cultivar Catiguá MG2 presentaron los valores más altos, de la misma forma que ocurrió para el porcentaje de emergencia, lo que evidenció un mayor vigor de las semillas de este cultivar producidas en esas dos zonas.

Según Valarezo et al. (2021), la longitud de las plántulas de café depende en gran parte del cultivar y puede estar influenciado por la zona de procedencia, esto lo concluye en su investigación de evaluación de germinación de cinco cultivares de café (*Coffea arabica* L.), en donde reportó valores que tienen variación hasta de un 40.00%. También Negrín et al (2021) mencionan que la altura de las plántulas en *Coffea canephora* se ve influida por la calidad de la semilla obtenida, el cultivar, el clima y el manejo postcosecha.

6.13 Peso seco de plántulas (parte aérea y raíz)

6.13.1 Parte aérea

El peso seco de la parte aérea de las plántulas de la zona de Coto Brus en el cultivar Catiguá MG2 fue el que presentó el mayor peso en comparación con los demás tratamientos, sin embargo, esto se puede relacionar a una menor emergencia de plántulas, lo que permitió que las plántulas emergidas tuvieran más espacio y menor competencia para crecer que aquellos tratamientos con mayores valores de emergencia. En general, el 75.00% de los tratamientos del cultivar Catiguá MG2 obtuvieron un mayor peso en comparación con los tratamientos del cultivar IAC Obatá 1669-20 independientemente de la zona.

Según Valarezo et al (2021) en su investigación de diferentes cultivares de café menciona que el peso seco de las plántulas está relacionado al vigor de la semilla, el genotipo y el ambiente donde se desarrolló la planta, por lo que se puede inferir que para el cultivar Catiguá MG2 la semilla

en las distintas zonas presentaron mayor vigor. Además, Martínez (2021) y Acosta (2022) coinciden que las diferencias en el peso de la parte área de las plántulas en los distintos cultivares de café es influenciado por el genotipo, lo cual coincide con lo obtenido en esta investigación.

6.13.2 Peso seco raíz

El peso seco de la raíz en la zona de Coto Brus el cultivar IAC Obatá 1669-20 fue el que presentó un mayor peso en comparación con los demás tratamientos y esto se debe posiblemente al mismo efecto observado para el peso seco de la parte aérea, al presentar menor emergencia las plántulas tienen menor competencia y mayor espacio para desarrollarse. Estudios realizados en café indican que el peso seco de la raíz de las plántulas está influenciado por la zona de producción y el cultivar con variaciones de más de 4.00 g (Según Aguilar et al., 2016; Honorio, 2019; Inga, 2024).

A pesar de que en este estudio se utilizaron plantaciones de café que se manejan según los requerimientos normados para la producción de semillas certificados los resultados de las pruebas de germinación en la mayoría de los lotes fueron inferiores al 80.00% de germinación y los porcentajes de emergencia fueron considerados bajos menores de 65.33%, lo que evidencia problemas de calidad fisiológica en las semillas producidas en las distintas zonas, aunque el análisis descriptivo del clima y el suelo indique que las zonas reúnen las condiciones adecuadas para la producción de este cultivo. Por lo tanto, no se puede concluir con certeza cuál es la mejor zona o cultivar y es necesario realizar más estudios para determinarlo, con detalles más específicos de las condiciones climáticas del año de estudio de la investigación.

7. Conclusiones

Las semillas de Catiguá MG2 producidas en la zona de Pérez Zeledón y Valle Central fueron las que cumplieron con la germinación oficial de semilla certificada requerida para su comercialización en el país, sin embargo, la emergencia de las plántulas de estos mismos tratamientos y no presentó el vigor adecuado, lo cual compromete su calidad para la comercialización.

La calidad de la fruta de los lotes certificados para semilla de café, cumplió con los requerimientos establecidos por la Oficina Nacional de Semillas en cuanto a su madurez, flotes, verdes y granos dañados por broca.

La pureza física de los lotes de semilla certificadas analizadas fueron óptimos y califican bajo lo establecido por la Oficina Nacional de Semillas.

El tipo de suelo andisol y ultisol encontrado en las fincas productoras es adecuado para la producción de café (comercial o semilla), sin embargo, se debe tomar en cuenta que para cada caso se requerirá un manejo específico según el tipo de suelo, su fertilidad y manejo del cultivo según la guía técnica oficial.

El clima de las zonas de estudio presentó variabilidad en los últimos cinco años, pero las condiciones que se encontraron en general presentan los niveles óptimos para el desarrollo del cultivo de café.

8. Recomendaciones

En el cultivar Catiguá MG2 de las zonas de Valle Central y Pérez Zeledón se pueden estudiar otras variables como, granulometría, mediante la separación de los granos por tamaños con diferentes zarandas.

Realizar seguimiento a los distintos lotes utilizados de este estudio, para la producción de semillas, por un periodo de al menos cuatro años y validar el porcentaje de germinación y porcentaje de emergencia de plántulas.

Tomar en cuenta para futuras investigaciones que se puede ampliar el estudio a otras zonas con potencial para la producción de semillas, tomar en consideración la altitud de las zonas y otros cultivares.

Destinar fincas para la producción exclusiva de semilla donde cumplan con los requerimientos establecidos por la ONS para lotes de semilla certificada según la guía técnica.

Dar manejo un diferenciado a lotes certificados para producción de semilla de los totes comerciales, con fertilizaciones a la medida según los requerimientos nutricionales de cada lote, demarcar el lote y aislar mediante barreras vivas que eviten una polinización cruzada.

En lotes de semilla con porcentajes de germinación bajos se puede realizar la compra extra de semillas para completar la cantidad de plántulas que se desean obtener en almacigo.

Para aumentar el porcentaje de germinación del lote de semillas, se puede utilizar clasificaciones con maquina densimétrica y electrónica de selección por coloración, aunque esto, elevaría el costo de la semilla.

9. Referencias Bibliográfica

- Acosta, T. (2022). *El endocarpo en la emergencia, vigor y fenología el endocarpo en la emergencia, vigor y fenología oxapampa*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5190/acosta-trinidad-luis-tibhy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar, C., Alvarado, I., Martínez, F., Galdámez, J., Gutiérrez, A., & Morales, J. (2016). Evaluación de tres abonos orgánicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero. *Siembra*, 3(1), 11-20 <https://www.redalyc.org/journal/6538/653869225003/html/>
- Albornoz, A. V., (2022). *Determinación de tratamientos pregerminativos de semillas de *Ocotea insularis* (Meisn.) Mez, IMBABURA, Ecuador*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica del Norte] <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12575/2/03%20FOR%20346%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Alvarado, L., Borjas, R., León, F., Valderrama, D., Echeverria, C., Castro, V., Bello, S., & Julca, A. (2023). *Guía básica para la producción de semillas de café en el Perú*. Instituto Regional de Desarrollo de Selva. https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Borjas/publication/369378286_GUIA_BASICA_para_la_produccion_de_semillas_de_cafe_en_Peru/links/6418caed66f8522c38bda63d/GUIA-BASICA-para-la-produccion-de-semillas-de-cafe-en-Peru.pdf
- Alves, E., Alcántara, R., Oliveira, A., Alves, A., Alves, A., & Cesar, R. (2005). *Influência do tamanho e da procedência de sementes de *Mimosa caesalpinifolia* benth. sobre a germinação e vigor I*. *Sociedade de Investigações Florestais*, 29(6), 877-885. <https://www.scielo.br/j/rarv/a/PPR8jf87Hbk9cqrX8ns3hQq/abstract/?format=html&lang=en>
- Andrade, H. (1992). *Mejoramiento del vigor en semillas de maíz y su relación con emergencia*. [Tesis de maestría, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Centro de Genética] <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1408/1/iniapsctA553m.pdf>
- Andrade, N., Contreras, A., & Castro, I. (2008). *Evaluación comparativa del efecto en el rendimiento y sanidad en el cultivo de la papa al utilizar semilla certificada y sin certificar*.

Universidad Austral de Chile, 36(2), 111-114.
<http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v36n2/art07.pdf>

- Angulo, J., (2021). *Comportamiento morfológico y agronómico de diferentes cultivares de café arábico en la parroquia La Unión del cantón Jipijapa*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3657/1/24-JICSONANGULO-%20FINAL.pdf>
- Araujo, R. F., Araujo, E. F., Cecon, P. R., & Sofiatti, V. (2008). Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(3), 1-8. <https://www.scielo.br/j/rbs/a/93RmNmcHLjTCYLX3y5s8VM/?format=pdf&lang=pt>
- Ávila, M. R., Jacobo, J. L., Rosales, R., Espinoza, J., González, H., & Pajarito, A. (2012). Influencia de la calidad de semilla en la producción de frijol en el norte-centro de México. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(3), 158-164. <file:///C:/Users/Allan%20B/Downloads/673-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2835-1-10-20201102.pdf>
- Bonilla, M. (2014). Variación del peso y viabilidad de las semillas de *Pinus tropicalis* para diferentes procedencias. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(1). <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/133/241>
- Cabalceta, G. Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrimentos en suelo de Costa Rica utilizando la solución extractora Melich 3. *Revista Agronomía Costarricense*, 30(2). 31-44.
- Castanheira, G. (2016). *Espectroscopia no infravermelho próximo para classificação de sementes de café quanto a qualidade, origem e cultivar*. [Tesis de Doctorado Universidade Federal de Lavras].
http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9102/Tese_Gabriel%20Castanheira%20Guimar%c3%a3es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, C. V., Barrezueta, S. (2020). Aspectos Sociales y Económicos: Caso Productores de Café en la Provincia El Oro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 71-75. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/233>
- CENICAFE. (1995). *El desmucilaginado mecánico del café*.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0216.pdf>

- CENICAFE. (2004). *Atributos de calidad de la semilla de café de las variedades Colombia y Tambi*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0324.pdf>
- CENICAFE. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. <https://www.redalyc.org/pdf/4759/475948929008.pdf>
- Coa, M., Méndez, J. R., Silva, R., Mundarain, S. (2014). Evaluación de métodos químicos y mecánicos para promover la germinación de semillas y producción de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuaí Rojo. *IDESIA*, 32(1), 43-53. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v32n1/art06.pdf>
- Corbineau, F. (2012). *Marcadores de la calidad de la semilla: del presente al futuro*. <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/markers-of-seed-quality-from-present-to-future/3A34DCFC9C6D17925825E95DA989FF92>
- Córdoba, C. Rojas, E. Díaz, M. (2020). Análisis histórico de la variabilidad de la precipitación en Anolaima, como herramienta para la adaptación local en cultivos de café (*Coffea arabica* L.). *Gestión y Ambiente*, 23(1), 23-36. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/78296/78375>
- Côrtes, E. (2021). *Influência do hipoclorito de sódio na germinação e emergência de coffea arabica*. [Tesis de Bachiller, Universidad Federal de Mato Grosso]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/2358/1/TCC_2021_Euller_Ribeiro_Cortes_Leonel.pdf
- De Vasconcelos, E., Reis, M., Sedyama, T., & Cruz, C. (2012). Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. *Ciências Agrárias* 33(1), 65-76. <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5448/10257>
- Del Porte, C. (2021). *Factores que afectan la calidad física y fisiológica de semillas de café (Coffea arabica L.) durante el manejo postcosecha*. [Tesis de Maestría, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4660/Porte_Morales_CG_MC_Produccion_Semillas_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Dewantier, L., Domingues, V., Rodrigues, L., Da Rosa, S., Bernardo, J., & Meneghello, G. (2020). Caracterização Preliminar da Qualidade de Sementes de Três Genótipos de Milho Crioulo Cultivados no Sul do Brasil. *Cadernos de Agroecología* 15(4). <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6574>
- Farfán, F. (2020). *Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales*. Centro Nacional de Investigaciones de Café, 72-123. https://doi.org/10.38141/10791/0002_3
- Figuroa, L. (2019). *Beneficios económicos del uso de semilla certificada en la producción de arroz (Oryza sativa) en el PERÚ*". [Tesis de Maestría Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4161/figuroa-guzman-livia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Filho, M. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. ABRATES.
- Flechas, N., Medina, R. (2021). *Efecto del almacenamiento en la viabilidad, germinación y vigor de semillas de Coffea arábica L. Cenicafé*, 72(2), 1-93. <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/156/123>
- García, F., Buckler, E., Tiffin, P., Springer, M. (2009). Heterosis is prevalent for multiple traits in diverse maize germplam. *Plos One*, 4(10), e7433. <https://www.researchgate.net/publication/26889238>
- Gélvez, J. (2023). Corte transversal de un grano de café. [Fotografía]. <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>
- Hernández, J. H., Jaramillo, J. G., Espinosa, A., Peña, B. V., Díaz, R., & Sierra, M. (2018). Indicadores económicos en el uso de semilla de maíz de calidad normal y proteica (QPM) en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 865-870. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1402/1291>
- Honorio, J. (2019). Efecto del tipo y escarificación de la semilla de café (*Coffea canephora* Pierre) y su relación con el desarrollo de plantones en vivero en Tingo María. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de La Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/c95b095a-b8fa-4890-9896-1683c30ba781>

- Hormaza, P. (2017). *Qualidade fisiológica e sensorial de sementes de café (Coffea arabica L.) produzidas em diferentes altitudes e faces de exposição da montanha*. [Tesis de Doctorado, Universidades Federal de Viçosa]. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/11694/1/texto%20completo.pdf>
- Inga, S. (2024). Evaluación del comportamiento agronómico de cuatro variedades de café (*Coffea arabica* L.) en la fase de establecimiento en condiciones de Eneñas del distrito de Villa Rica. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4409/1/T026_45375834_T.pdf
- Instituto del Café de Costa Rica. (2002). *Caracterización de suelos y cultivo de café en el cantón de Pérez Zeledón, I*. 1-107.
- Instituto del Café de Costa Rica. (2015). *Regiones Cafetaleras de Costa Rica*. <https://www.icafe.cr/nuestro-cafe/historia/>
- Instituto del Café de Costa Rica. (2021). *Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del café 2021-2022*.
- Instituto del Café de Costa Rica. (2022). *Informe sobre la actividad*. Obtenido de <file:///D:/Informe%20Actividad%20Cafetalera.pdf>
- Instituto del Café de Costa Rica. (2023). *Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica*. Obtenido de https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informes_gestion/actividad_cafetalera/Informe%20Actividad%20Cafetalera%20de%20Costa%20Rica%202023.pdf
- Instituto Meteorológico Nacional. (2000). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Instituto Nacional de Aprendizaje. (2017). *Historia Natural de Costa Rica, Vegetación de Costa Rica: Biodiversidad y riqueza*. [https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/19801/mod_resource/content/1/Vegetacion%20de%20Costa%20Rica%20\(v-asec\).pdf](https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/19801/mod_resource/content/1/Vegetacion%20de%20Costa%20Rica%20(v-asec).pdf)
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2014). *Boletín de Suelos de Costa Rica Orden Ultisol*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>

- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2015). Boletín de *Suelos de Costa Rica Orden Andisol*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1828.PDF>
- International Seed Testing Association. (2018). International Rules for Seed Testing. ISTA
- Jaramillo, A. (2005). La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 29(112), 371-382. <https://pdfs.semanticscholar.org/d38f/5c15dc883ff5dbde0aebaa300069dcd976e1.pdf>
- Lazo, I. (2020). *Elaboración de protocolo de viabilidad para la semilla de café (Coffea arabica) para la planta de semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano)]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/14b11148-72a6-4e9e-805c-a9b53ee1b2ef/content>
- Malau, S., Siagian, A., Sirait, B., & Ambarita, H. (2018). Germination performance of *Coffea arabica* L. genotypes from different altitude, precipitation and temperature of seeds producing farms in Sumatera Utara of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 205. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/205/1/012013/pdf>
- Martínez, G. (2021). *Desarrollo de plántula de café con diferente tamaño de bolsa*. [Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://doc-0c-b8-apps-viewer.googleusercontent.com/viewer/secure/pdf/ic5761922rq59gl7kbn8lvi72hcm8deh/fr3krg9dr5guvhql1u21mpilhu0gqsa/1697865975000/lantern/15241761561006417809/ACFrOgCQ9TRbxIeTHhoRiAJqpnY0GVirQ5IB1XxHMzS5AsWV2IYyAzbIkgawhYdwtdJ9zvLdG1EX>
- Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (2010). Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de las opciones de cosecha de agua. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F06-5898.pdf>

- Montenegro, J. (2019). Respuesta polinómica de la emisión de óxido nitroso en plantaciones de café en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 1-24. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962019000200001
- Mora, S., Chinchilla, C., Sánchez, A., & Escobar, R. (2007). Innovación en los procesos para mejora la calidad de las semillas germinadas de las plántulas de palma aceitera. *Revista Palmas*, 28(1). 265-272. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1263>
- Moreno, G. (2002). Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *CENICAFE* 53(2). 132.143. <https://biblioteca.cenicafe.org/jspui/bitstream/10778/1021/1/arc053%2802%29132-143.pdf>
- Nakagawa, J. (1999). *Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas*. In: VIEIRA, R.D.
- Negrín, Y., González, C., Solares, M., & Esmor, C. (2021). Efecto del café fermentado con bioproducto sobre la germinación de semillas y el desarrollo de posturas. *Anales Científicos* 82(2), 288-295. doi: <https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1791>
- Oficina Nacional de Semillas. (2011). Reglamento Técnico para la Certificación de Semilla de Café (*Coffea arabica* L).
- Oficina Nacional de Semillas. (2022). Normas técnicas para la producción de semilla certificada de café (*Coffea arabica* L). <http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/normatecnica-cafe-produccionsemillasexual-yplantulasinvitro.pdf>
- Organización de los Estados Americanos. (1997). Estudio de Diagnóstico de la Cuenca del Río San Juan y Lineamientos del Plan de Acción. <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea05s/begin.htm#Contents>
- Organización Internacional del Café. (2022). *Informe del mercado del café*. <https://www.ico.org/documents/cy2022-23/cmr-1222-c.pdf>
- Pincay, M. J. (2022). *Respuesta morfológica de cuatro genotipos de café (Coffea arábica) a la aplicación de un manejo integrado de fertilizantes, en etapa de crecimiento durante el primer año* [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <file:///D:/Tesis%20de%20Maria%20Jamileth%20Pincay%20Castro.pdf>

- Ramírez, J. 2015. Variedad Catiguá MG2 Comunicaciones Técnicas de Café Número 85 - enero 2018. <https://ramirezcaficulturadesdecostarica.com/ct-85>
- Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Nowell, D., & Larinde, M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Bioversity International* 8, 1-165. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/1946/1261.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rojo, E. (2014). Café I (G. *Coffea*). *Revista Reduca, Serie Botánica*, 7(2), 113-132.
- Sancho, F., Villatoro, M. (2005). Efecto de la posición en la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes Ústicos de Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense* 29(3). 159-174. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n03_159.pdf
- Santamaría, M. (2022). Efecto del material de empaque en el almacenamiento de la semilla *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 73(2). <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/278/337>
- Silva, G. (2003). *Beneficiamento de sementes de café (Coffea arabica L.) e efeitos na qualidade*. [Tesis de Doctorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sao Paulo, Brasil] <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8a8b6a12-6602-490f-97a4-cd5a74eb5e00/content>
- Siqueira, C. (2008). *Cultivares de café*. Embrapa. http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Livro_Cultivares.pdf
- Siqueira, C., Bartelega, L., Hiroshi, G., Braz, J., Roque, S., Santinato, F., Lenzi, A. (2022). *Catálogo de cultivares de café arábica*. Embrapa.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Manual para la producción de semilla certificada de café en México*. Plan integral de atención al café. <https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/02/MANUAL-CERTIFICADA-FINAL.pdf>

- Torres, B., Coutiño, B., Muñoz, A., Santacruz, A., Mejía, A., Serna, S., García, S., & Palacios, N., (2010). Selección para Contenido de Aceite en el Grano de Variedades de Maíz de la Raza Comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia* 44(6), 679-689. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600007
- United States Department of Agriculture. (1993). *Soil survey manual. Soil conservation service.* Washington, D. C. 437p.
- United States Department of Agriculture. (2006). *Claves para taxonomía de suelos. Natural Resources conservation service.* Washington, D. C. 339 p.
- Valarezo, N., Quevedo, J., Ajila, L., García, R., & Chabla, J. (2021). Evaluación del porcentaje de germinación de cinco cultivares de café (*Coffea arabica* L.) empleando cuatro tratamientos en vivero. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 69-7
- Vargas, G. (2017). *Tolerancia a la desecación de semillas de café CATIMOR (Coffea arabica L. x Coffea canephora Pierre ex A. Froehner).* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3555/vargas-torres-gina-sofia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Velásquez, R. (2021). Guía de variedades de café y selección de semilla. <https://www.anacafe.org/uploads/file/bb091944490b490482f329b0ea0ec6bd/Guia-variedades-y-seleccion-semilla.pdf>
- Vignola, R. Watler, W. Poveda, K. Vargas, A. (2018). Practicas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticas en el cultivo de café en Costa Rica. Ficha técnica Cultivo de café. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf>
- Vindas, E. J., Monge, A. A. V., Porras, C., & Barboza, L. (2022). Pruebas de vigor para determinar la calidad fisiológica en semillas de zanahoria (*Daucus carota* L.). *Agronomía Mesoamericana* 33(Especial), 1-14. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v33nspe1/1659-1321-am-33-spe1-00006.pdf>

World Coffee Research. (2021) *Guía de buenas prácticas producción de semilla de café*.
https://cdn2.assetsservd.host/worldcoffeeresearch/production/documents/Guia_Semillas_ES_P_v2.pdf

Zamudio, D., Mestanza, C., Dionisio, E., Bolo, J., Pilatarzi, V., Ramos, C. Moya, M., & Quintana, V. (2014). Germinación de semillas de maíz (*Zea mays*) inmersas en soluciones orgánicas. Círculo de Investigación en Suelos (C.I.S.), especialidad de Manejo Ecológico de Suelos.
https://www.researchgate.net/publication/268392413_Germinacion_de_semillas_de_maiz_Zea_mays_inmersas_en_soluciones_organicas

10. Anexos

Anexo 1. Análisis de fruta en campo según la norma técnica de producción de semillas de Café de la Oficina Nacional de Semillas (ONS, 2011).

Zona	Cultivar	Tratamiento	Repetición	Verde	Seco	Vano	Broca	Granos/Litro	Promedio Granos/L
Coto Brus	Catiguá MG2	T1	R1	0	0	1	0	320	317
	Catiguá MG2	T1	R2	0	0	1	0	314	
	Catiguá MG2	T1	R3	0	0	1	0	317	
Naranjo	Catiguá MG2	T2	R1	0	2	1	0	390	431
	Catiguá MG2	T2	R2	0	2	2	0	437	
	Catiguá MG2	T2	R3	0	1	1	0	465	
Barva	Catiguá MG2	T3	R1	0	0	5	0	387	423
	Catiguá MG2	T3	R2	0	1	1	0	441	
	Catiguá MG2	T3	R3	0	1	2	0	442	
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	T4	R1	0	0	1	0	374	341
	Catiguá MG2	T4	R2	0	0	1	0	330	
	Catiguá MG2	T4	R3	0	0	1	0	320	
Coto	IAC Obatá 1669-20	T5	R1	0	0	1	0	296	291

Brus	IAC Obatá 1669-20	T5	R2	0	0	1	0	286	
	IAC Obatá 1669-20	T5	R3	0	0	1	0	292	
Naranjo	IAC Obatá 1669-20	T6	R1	0	1	2	0	336	357
	IAC Obatá 1669-20	T6	R2	0	1	1	0	389	
	IAC Obatá 1669-20	T6	R3	0	1	1	0	345	
Barva	IAC Obatá 1669-20	T7	R1	0	0	2	0	317	312
	IAC Obatá 1669-20	T7	R2	0	0	2	0	325	
	IAC Obatá 1669-20	T7	R3	0	1	2	0	294	
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	T8	R1	0	0	2	0	379	343
	IAC Obatá 1669-20	T8	R2	0	0	2	0	342	
	IAC Obatá 1669-20	T8	R3	0	0	2	0	309	

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Anexo 2. Conversión de café fruta a café pergamino seco.

Zona	Cultivar	Tratamiento	Repetición	Peso pergamino kg	Promedio pergamino kg
Coto Brus	Catiguá MG2	T1	R1	5.17	5.57
	Catiguá MG2	T1	R2	6.00	
	Catiguá MG2	T1	R3	5.54	
Naranjo	Catiguá MG2	T2	R1	5.28	5.38
	Catiguá MG2	T2	R2	5.38	
	Catiguá MG2	T2	R3	5.48	
Barva	Catiguá MG2	T3	R1	6.52	6.27
	Catiguá MG2	T3	R2	6.08	
	Catiguá MG2	T3	R3	6.20	
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	T4	R1	4.64	4.99
	Catiguá MG2	T4	R2	4.92	
	Catiguá MG2	T4	R3	5.40	
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	T5	R1	5.52	6.37
	IAC Obatá 1669-20	T5	R2	7.00	

	IAC Obatá 1669-20	T5	R3	6.58	
Naranja	IAC Obatá 1669-20	T6	R1	5.74	5.87
	IAC Obatá 1669-20	T6	R2	6.00	
	IAC Obatá 1669-20	T6	R3	5.88	
Barva	IAC Obatá 1669-20	T7	R1	5.39	5.54
	IAC Obatá 1669-20	T7	R2	5.38	
	IAC Obatá 1669-20	T7	R3	5.85	
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	T8	R1	5.62	5.68
	IAC Obatá 1669-20	T8	R2	6.04	
	IAC Obatá 1669-20	T8	R3	5.39	

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

Anexo 3. Muestreo con barreno en la Finca Cafetalera El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica, 2024.



Anexo 4. Muestreo con barreno en la Finca Cloza, Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2024.



Anexo 5. Muestreo con barreno y calicata en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, 2024.



Anexo 6. Muestreo con barreo en la Finca ICAFE, Barva, Heredia, Costa Rica, 2024.



Anexo 7. Resultados de nutrientes requeridos según la producción de cada lote, cosecha 2023-2024, de acuerdo con programa Interpretador V8 del ICAFE.

Nutrientes requeridos kg/ha para ambos cultivares							
Finca	Zona	Región	Nitrógeno (N)	Fosforo (P₂O₅)	Potasio (K₂O)	Magnesio (MgO)	Boro (B)
Finca Cafetalera El Arrempujón S.A.	Coto Brus	Brunca	258.00	38.00	91.60	79.80	3.40
Finca Cloza	Naranjo	Valle Occidente	216.00	4.90	68.70	68.60	2.60
Finca La Palmira	Pérez Zeledón	Brunca	228.00	14.00	225.00	71.80	2.90
Finca ICAFE	Barva	Valle Central	231.00	5.50	76.80	72.60	2.90

Anexo 8. Datos de distancia de siembra y sombra de cada finca donde se encuentran los lotes de semilla.

Finca	Zona	Región	Densidad plantas/ha	Distancia de siembra	Sombra	Tipo de Sombra
Finca Cafetalera El Arrempujón S.A	Coto Brus	Brunca	5917	2,60 x 0,65	Sí	Poró (<i>Erythrina</i> sp.)
Finca Cloza	Naranjo	Valle Occidente	5000	2 x 1	Sí	Poró (<i>Erythrina</i> sp.)
Finca ICAFE	Barva	Valle Central	5000	2 x 1	Sí	Poró (<i>Erythrina</i> sp.)
Finca La Palmira	Pérez	Brunca	5000	2,5 x 0,80	Sí	Poró

	Zeledón	a				(<i>Erythrina</i> sp.)
--	---------	---	--	--	--	-------------------------

Anexo 9. Datos de producción de ff/ha de los cultivares en las fincas de la cosecha 2022-2023.

Finca	Zona	Región	IAC Obatá 1669-20	Catiguá MG2
Finca Cafetalera El Arrempujón S.A.	Coto Brus	Brunca	50	56
Finca Cloza	Naranjo	Valle Occidente	40	42
Finca ICAFE	Barva	Valle Central	45	47
Finca La Palmira	Pérez Zeledón	Brunca	46	45

Anexo 10. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	72.35	45.41	64.21	70.89	49.45	36.47
Error típico	9.03	4.70	9.36	6.83	8.55	5.69
Mediana	53.60	37.60	46.00	71.30	24.80	21.00
Desviación estándar	64.50	32.24	56.93	47.34	58.61	36.85
Varianza	4160.14	1039.61	3241.41	2241.26	3434.69	1358.13
Mínimo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.20
Máximo	243.00	115.20	194.80	167.00	242.00	134.40
Suma	3689.80	2134.40	2375.80	3402.80	2324.00	1531.80

Anexo 11. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	23.04	23.21	22.73	22.15	21.81	22.62
Error típico	0.07	0.10	0.16	0.08	0.07	0.11
Mediana	22.99	23.26	22.35	22.07	21.78	22.70
Desviación estándar	0.52	0.69	1.02	0.54	0.46	0.74
Varianza	0.27	0.47	1.05	0.30	0.21	0.54
Mínimo	21.87	21.90	21.00	21.30	20.91	20.87
Máximo	24.39	24.45	25.00	23.58	23.02	24.39
Suma	1198.26	1113.93	886.63	1063.42	1024.95	995.27

Anexo 12. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m²) semanal de la zona de Coto Brus de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	34.12	33.07	33.60	30.40	25.18	28.21
Error típico	1.08	1.75	1.88	1.54	1.72	1.96
Mediana	32.22	34.15	31.43	30.99	25.20	29.66
Desviación estándar	7.18	12.09	10.77	11.08	11.28	14.02
Varianza	51.59	146.22	116.08	122.82	127.15	196.70
Mínimo	25.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximo	54.62	51.70	57.52	48.10	44.06	51.91
Suma	1501.22	1587.39	1108.72	1580.64	1082.72	1438.76

Anexo 13. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	37.30	43.12	36.80	46.20	54.83	48.46
Error típico	5.48	5.10	5.40	7.53	7.26	8.33
Mediana	24.40	38.40	33.20	37.00	57.80	45.50
Desviación estándar	35.51	30.58	34.58	49.37	43.58	48.56

Varianza	1260.75	935.31	1196.07	2437.77	1899.36	2357.71
Mínimo	0.20	0.60	0.40	0.20	0.20	0.20
Máximo	129.20	104.00	139.20	181.60	159.60	181.40
Suma	1566.80	1552.40	1508.60	1986.80	1973.91	1647.80

Anexo 14. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	21.71	21.96	22.10	21.81	21.39	22.44
Error típico	0.07	0.10	0.11	0.07	0.14	0.15
Mediana	21.69	21.93	22.03	21.77	21.50	22.56
Desviación estándar	0.50	0.72	0.79	0.53	0.96	0.83
Varianza	0.25	0.52	0.62	0.28	0.92	0.69
Mínimo	20.50	20.10	20.54	20.70	15.49	20.93
Máximo	22.73	23.81	24.28	23.76	22.47	24.05
Suma	1128.97	1141.77	1149.04	1134.28	1048.35	717.93

Anexo 15. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m²) semanal de la zona de Valle Occidente de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	30.74	32.30	31.10	29.70	26.04	26.12
Error típico	0.90	1.08	1.12	0.96	1.32	1.91
Mediana	29.14	30.12	27.84	26.66	24.71	28.38
Desviación estándar	6.28	7.56	8.08	6.95	9.53	13.66
Varianza	39.48	57.14	65.23	48.26	90.80	186.65
Mínimo	21.51	19.94	16.04	20.22	0.00	0.00
Máximo	44.47	47.88	48.17	44.30	42.05	44.77
Suma	1506.21	1582.58	1617.09	1544.45	1354.11	1331.89

Anexo 16. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona de Pérez Zeledón de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	50.00	48.76	73.71	61.83	67.25	41.91
Error típico	5.27	5.15	10.89	6.65	7.31	5.71
Mediana	46.80	51.80	65.70	55.70	68.10	41.60
Desviación estándar	35.74	32.19	72.25	44.14	49.57	35.69
Varianza	1277.44	1036.23	5220.56	1947.97	2456.90	1273.76
Mínimo	1.00	0.80	0.20	0.20	1.60	0.20
Máximo	122.00	123.00	417.20	160.60	175.60	124.20
Suma	2299.80	1901.80	3243.20	2720.40	3093.60	1634.60

Anexo 17. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Pérez Zeledón) de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	23.26	24.26	23.50	22.47	22.63	23.58
Error típico	0.10	0.14	0.31	0.07	0.07	0.10
Mediana	23.28	24.05	22.32	22.43	22.58	23.66
Desviación estándar	0.74	0.94	2.22	0.47	0.52	0.70
Varianza	0.54	0.88	4.93	0.22	0.27	0.48
Mínimo	21.92	22.78	20.01	21.35	21.64	21.94
Máximo	25.40	26.46	29.14	23.49	24.09	25.00
Suma	1209.71	1164.46	1198.51	1078.41	1154.17	1037.49

Anexo 18. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m²) semanal de la zona de Pérez Zeledón de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	29.93	29.22	31.49	27.85	28.84	26.95
Error típico	0.85	1.52	1.05	1.36	1.03	1.76
Mediana	28.66	28.68	29.48	28.88	28.62	29.63

Desviación estándar	5.31	9.38	7.52	9.69	7.46	12.69
Varianza	28.16	87.99	56.58	93.98	55.62	161.00
Rango	23.84	50.31	39.48	44.51	41.95	42.94
Mínimo	21.33	0.00	7.21	0.00	0.00	0.00
Máximo	45.18	50.31	46.69	44.51	41.95	42.94

Anexo 19. Datos de estadística descriptiva de precipitación (mm) semanal de la zona Valle Central de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	44.76	41.25	58.24	59.46	69.48	84.12
Error típico	6.10	5.91	8.41	9.11	9.36	13.53
Mediana	36.60	38.80	52.20	45.90	66.40	65.60
Desviación estándar	40.03	38.78	55.81	60.44	62.08	80.04
Varianza de la muestra	1602.49	1503.61	3114.87	3653.37	3853.46	6406.75
Mínimo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1.40
Máximo	180.60	129.80	256.60	208.60	267.20	306.00
Suma	1924.80	1773.60	2562.40	2616.40	3057.20	2944.20

Anexo 20. Datos de estadística descriptiva de temperatura (°C) semanal de la zona de Valle Central de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	20.70	21.00	20.94	21.29	20.90	21.39
Error típico	0.09	0.11	0.13	0.08	0.09	0.11
Mediana	20.68	20.92	20.75	21.27	20.88	21.35
Desviación estándar	0.64	0.79	0.94	0.56	0.68	0.75
Varianza	0.41	0.63	0.89	0.32	0.47	0.56
Mínimo	19.47	19.48	19.04	20.30	19.48	19.84
Máximo	22.07	22.78	23.56	22.48	22.43	23.17
Suma	1076.58	1091.89	1089.04	1107.31	1086.54	919.79

Anexo 21. Datos de estadística descriptiva de radiación solar (MJ/m²) semanal de la zona Valle Central de los años 2018 al 2023.

Medida estadística	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media	35.30	36.00	34.56	35.32	34.31	31.62
Error típico	1.12	1.20	1.20	1.17	1.14	2.34
Mediana	32.60	33.11	32.05	32.92	32.95	33.88
Desviación estándar	7.95	8.43	8.69	8.44	8.20	16.74
Varianza	63.13	71.03	75.44	71.28	67.22	280.27
Mínimo	21.18	22.27	16.65	24.24	22.36	0.00
Máximo	52.39	53.58	52.66	55.55	52.00	55.77
Suma	1764.82	1764.05	1797.17	1836.69	1784.24	1612.71

Anexo 22. Porcentaje de humedad de la semilla de café utilizada en los tratamientos de este estudio.

Zona	Cultivar	Tratamiento	Repetición	Muestra	Humedad (%)	Humedad Promedio (%)
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R1	1	19.30	19.30
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R1	2	19.40	
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R2	1	28.40	28.20
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R2	2	28.10	
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R3	1	22.50	22.40
Coto Brus	Catiguá MG2	1	R3	2	22.40	
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R1	1	15.30	15.30
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R1	2	15.20	
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R2	1	14.90	14.90
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R2	2	14.90	
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R3	1	15.70	15.70
Valle Occidente	Catiguá MG2	2	R3	2	15.70	
Valle Central	Catiguá MG2	3	R1	1	23.20	23.20

Valle Central	Catiguá MG2	3	R1	2	23.30	
Valle Central	Catiguá MG2	3	R2	1	21.60	21.60
Valle Central	Catiguá MG2	3	R2	2	21.50	
Valle Central	Catiguá MG2	3	R3	1	24.00	24.00
Valle Central	Catiguá MG2	3	R3	2	24.00	
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R1	1	20.00	20.00
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R1	2	20.00	
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R2	1	20.70	20.70
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R2	2	20.70	
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R3	1	24.00	23.90
Pérez Zeledón	Catiguá MG2	4	R3	2	23.90	
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R1	1	22.60	22.50
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R1	2	22.40	
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R2	1	35.70	35.60
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R2	2	35.60	
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R3	1	33.80	33.80
Coto Brus	IAC Obatá 1669-20	5	R3	2	33.80	
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R1	1	19.00	18.90
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R1	2	18.90	
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R2	1	22.50	22.50
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R2	2	22.50	
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R3	1	21.50	21.70
Valle Occidente	IAC Obatá 1669-20	6	R3	2	21.80	
Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R1	1	18.00	18.00
Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R1	2	18.10	

Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R2	1	16.50	
Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R2	2	16.40	16.50
Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R3	1	23.20	
Valle Central	IAC Obatá 1669-20	7	R3	2	23.10	23.20
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R1	1	20.30	
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R1	2	20.30	20.30
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R2	1	25.90	
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R2	2	25.80	25.80
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R3	1	21.90	
Pérez Zeledón	IAC Obatá 1669-20	8	R3	2	22.00	22.00

Anexo 23. Cultivar IAC Obatá 1669-20 en Finca El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.



Anexo 24. Cultivar Catiguá MG2 en Finca El Arrempujón S.A., Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.



Anexo 25. Cosecha de semilla IAC Obatá 1669-20 en la Finca La Palmira, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.



Anexo 26. Almacenamiento en la bodega del ICAFE de semilla proveniente de los lotes para semilla certificada.



Anexo 27. Análisis de datos con el programa estadístico R estudio de los resultados de Anova.

```
> model_sem_pura <- lm(sem_pura ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_sem_pura))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	2.190	2.1901	48.657	5.42e-10	***
zona	3	0.986	0.3288	7.304	0.000198	***
cv:zona	3	0.409	0.1363	3.028	0.033662	*
Residuals	88	3.961	0.0450			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(aov(model_basura))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	2.190	2.1901	48.657	5.42e-10	***
zona	3	0.986	0.3288	7.304	0.000198	***
cv:zona	3	0.409	0.1363	3.028	0.033662	*
Residuals	88	3.961	0.0450			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_normal <- lm(normal ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_normal))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	48.0	48.0	5.98	0.0165	*
zona	3	602.9	201.0	25.02	8.51e-12	***
cv:zona	3	1404.5	468.2	58.28	< 2e-16	***
Residuals	88	706.9	8.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_caracolillo <- lm(caracolillo ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_caracolillo))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	124.01	124.01	47.08	9.13e-10	***
zona	3	185.55	61.85	23.48	2.96e-11	***
cv:zona	3	87.61	29.20	11.09	3.04e-06	***
Residuals	88	231.80	2.63			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_sin_perg <- lm(sin_perg ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_sin_perg))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	0.113	0.1130	2.742	0.101275	
zona	3	5.213	1.7378	42.194	< 2e-16	***
cv:zona	3	0.960	0.3200	7.770	0.000116	***
Residuals	88	3.624	0.0412			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(aov(model_perg_danado))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
cv	1	16.19	16.19	4.754	0.0319	*
zona	3	81.54	27.18	7.981	9.14e-05	***
cv:zona	3	115.65	38.55	11.319	2.38e-06	***
Residuals	88	299.71	3.41			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_bellota <- lm(bellota ~ cv*zona, data = df)
```

```
> summary(aov(model_bellota))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	0.0	0.02	0.014	0.907504
zona	3	32.3	10.75	6.079	0.000827 ***
cv:zona	3	417.4	139.12	78.670	< 2e-16 ***
Residuals	88	155.6	1.77		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_mil_sem <- lm(mil_sem ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_mil_sem))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	10391	10391	21.70	1.12e-05 ***
zona	3	46352	15451	32.27	3.66e-14 ***
cv:zona	3	36720	12240	25.56	5.51e-12 ***
Residuals	88	42137	479		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_plant_norma <- lm(plant_norma ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_plant_norma))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	11926	11926	101.35	2.62e-16 ***
zona	3	26533	8844	75.16	< 2e-16 ***
cv:zona	3	10959	3653	31.05	8.77e-14 ***
Residuals	88	10355	118		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_plant_anorm <- lm(plant_anorm ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_plant_anorm))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	3.4	3.38	0.190	0.6636
zona	3	142.5	47.49	2.679	0.0518 .
cv:zona	3	183.1	61.04	3.444	0.0201 *
Residuals	88	1559.7	17.72		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(aov(model_sem_no_germ))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	8.2	8.17	0.491	0.485
zona	3	739.5	246.50	14.810	6.91e-08 ***
cv:zona	3	439.5	146.50	8.802	3.63e-05 ***
Residuals	88	1464.7	16.64		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> model_sem_muertas <- lm(sem_muertas ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_sem_muertas))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	10965	10965	84.48	1.66e-14 ***
zona	3	23852	7951	61.26	< 2e-16 ***
cv:zona	3	5627	1876	14.45	9.83e-08 ***
Residuals	88	11422	130		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(aov(model_emerg_plant))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	10458	10458	49.054	4.76e-10 ***
zona	3	6709	2236	10.489	5.75e-06 ***
cv:zona	3	4924	1641	7.699	0.000126 ***
Residuals	88	18762	213		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(aov(model_altura_plant))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cv	1	6.129	6.129	22.192	9.28e-06 ***
zona	3	0.233	0.078	0.281	0.839
cv:zona	3	7.469	2.490	9.015	2.91e-05 ***
Residuals	87	24.026	0.276		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
1 observation deleted due to missingness

```
> model_long_raiz <- lm(long_raiz ~ cv*zona, data = df)
```

```

> summary(aov(model_long_raiz))
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
cv      1   5.04   5.039   5.982 0.0165 *
zona    3   2.06   0.686   0.814 0.4893
cv:zona  3   1.48   0.493   0.585 0.6264
Residuals 87 73.30   0.842
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> model_peso_seco_plant <- lm(peso_seco_plant ~ cv*zona, data = df)
> summary(aov(model_peso_seco_plant))
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
cv      1  78.0   77.99   8.888 0.00372 **
zona    3  44.6   14.85   1.693 0.17451
cv:zona  3 303.4  101.13  11.525 1.96e-06 ***
Residuals 87 763.4    8.77
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
1 observation deleted due to missingness

> model_peso_seco_raiz <- lm(peso_seco_raiz ~ cv*zona, data =
df)
> summary(aov(model_peso_seco_raiz))
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
cv      1  37.8   37.77   1.940 0.1672
zona    3 200.7   66.89   3.435 0.0204 *
cv:zona  3 195.5   65.18   3.347 0.0227 *
Residuals 87 1694.0   19.47
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
1 observation deleted due to missingness

```