

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE
PLANTAS M1 DE CAFÉ VAR. TÍPICA OBTENIDAS CON
IRRADIACIÓN GAMMA EN SAN RAMÓN - CHANCHAMAYO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

DUSTIN STEWART MARÍN GIL











LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL_DUSTIN MARÍN_2023.pdf (D160291997)
Submitted	3/7/2023 3:42:00 AM
Submitted by	Ricardo Borjas Ventura
Submitter email	rborjas@lamolina.edu.pe
Similarity	3%
Analysis address	rborjas.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS FINAL APROBADA.pdf Document TESIS FINAL APROBADA.pdf (D159162533) Submitted by: rborjas@lamolina.edu.pe Receiver: rborjas.unalm@analysis.arkund.com	 4
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TesisDeynaValderrama.pdf Document TesisDeynaValderrama.pdf (D142340661) Submitted by: ajo@lamolina.edu.pe Receiver: ajo.unalm@analysis.arkund.com	 4
W	URL: https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i3.39726 Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 2
SA	Libro_Coleccion_Colombiana_de_Cafe_JCArIS_Rev_2021.docx Document Libro_Coleccion_Colombiana_de_Cafe_JCArIS_Rev_2021.docx (D121802093)	 3
W	URL: https://doi.org/10.3390/plants9030396 Fetched: 3/7/2023 3:43:00 AM	 3
W	URL: https://doi.org/10.1094/PDIS-08-21-1804-FE Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 1
W	URL: https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2730 Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 1
W	URL: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056372 Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 1
W	URL: https://doi.org/10.3390/agronomy10121867 Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 3
W	URL: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592020000200007&lng=es&tlng=es Fetched: 3/7/2023 3:42:00 AM	 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE
PLANTAS M1 DE CAFÉ VAR. TÍPICA OBTENIDAS CON
IRRADIACIÓN GAMMA EN SAN RAMÓN - CHANCHAMAYO”**

DUSTIN STEWART MARÍN GIL

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ph. D. Julio César Alegre Orihuela
PRESIDENTE

.....
Dr. Ricardo Roberto Borjas Ventura
ASESOR

.....
Dra. Luz Rayda Gómez Pando
MIEMBRO

.....
Dr. Alberto Marcial Julca Otiniano
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mi madre, Marisa, y a mi padre, Julio.

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios.

Al Dr. Ricardo Borjas, por confiar en mí para comenzar y desarrollar el proyecto, por su apoyo y paciencia inmensos y constantes desde la redacción del proyecto, corrección de imprevistos y redacción final.

Al Vicerrectorado de Investigación – UNALM por financiar este proyecto.

A los miembros del jurado por sus apreciaciones y críticas constructivas para la mejora del este trabajo.

A los profesores de la UNALM, en especial de la Facultad de Agronomía, por transmitir valioso e inmensurable conocimiento.

A Leo y Flavio, por su apoyo en las evaluaciones.

A todas y todos, quienes de alguna u otra manera apoyaron a cumplir esta meta.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	3
2.1.1 Origen del café	3
2.1.2 Importancia global y nacional	3
2.1.3 El cultivo de café en el Perú	4
2.1.4 Clasificación taxonómica	5
2.1.5 <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica	6
2.1.6 Genética y biología reproductiva	6
2.1.7 La roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>)	7
2.1.8 La cercosporiosis del café (<i>Cercospora coffeicola</i>)	7
2.2 Mejoramiento genético del café	8
2.3 Mutaciones	8
2.3.1 Tipos de mutaciones	9
2.3.2 Agentes mutagénicos	9
2.4 Radiación ionizante gamma	10
2.5 Inducción de mutaciones	11
2.5.1 Inducción de mutaciones en semillas	12
2.5.2 Manejo de la M1	12
2.5.3 Mutaciones en café y resultados de la inducción de estas en la generación M1	14
III. METODOLOGÍA	17
3.1 Ubicación del campo experimental	17
3.2 Materiales y métodos	18
3.3 Análisis de datos	19
3.3.1 Estadísticos básicos	19
3.3.2 Análisis multivariado	19
3.4 Variables evaluadas en el experimento	20
3.4.1 Sobrevivencia en campo	20
3.4.2 Características morfológicas cualitativas	20
3.4.3 Características morfológicas cuantitativas	20
3.4.4 Características de producción de frutos	21
3.4.5 Susceptibilidad a estreses bióticos	21

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Supervivencia en campo	22
4.2 Características morfológicas cualitativas	24
4.2.1 Forma de estípula	24
4.2.2 Forma de hojas	25
4.2.3 Forma del ápice	26
4.2.4 Color de la hoja joven	27
4.2.5 Color de la hoja madura	29
4.2.6 Presencia de rama secundaria	34
4.3 Características morfológicas cuantitativas	34
4.3.1 Altura de planta	34
4.3.2 Diámetro de tallo	38
4.3.3 Índice de Esbeltez (IE)	40
4.3.4 Número de ramas por planta	41
4.3.5 Longitud de rama	43
4.3.6 Número de nudos	45
4.3.7 Longitud de entrenudos	47
4.3.8 Longitud de hoja	49
4.3.9 Ancho de hoja	51
4.4 Características de producción de frutos	53
4.4.1 Presencia de frutos	53
4.4.2 Número de frutos por planta	55
4.4.3 Peso de 100 frutos	56
4.4.4 Peso cerezo	57
4.4.5 Frutos anómalos	58
4.5 Susceptibilidad a estreses bióticos	61
4.5.1 Incidencia de Roya del café	61
4.5.2 Incidencia de cercosporiosis del café	71
4.6 Análisis multivariados	77
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	82
VII. BIBLIOGRAFÍA	83
VIII. ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Supervivencia (%) de plantas irradiadas y no irradiadas en campo a los 3 años del trasplante	22
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Fundo Génova de la Universidad Nacional Agraria La Molina .	17
Figura 2: Acondicionamiento y limpieza del campo de evaluación	18
Figura 3: Presencia de nódulos como posible infección por nemátodos en plantas no sobrevivientes de cafés irradiados	24
Figura 4: Forma de las estípulas en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	25
Figura 5: Forma de las hojas en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	26
Figura 6: Forma del ápice en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	27
Figura 7: Variaciones del color de hoja joven en plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	28
Figura 8: Color de hoja joven en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	29
Figura 9: Color de hoja madura en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	30
Figura 10: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (1)	31
Figura 11: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (2)	32

Figura 12: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de Coffea arabica L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (3)	33
Figura 13: Presencia de rama secundaria en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	34
Figura 14: Valores mínimo, promedio y máximo de la altura en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	35
Figura 15: Histograma de frecuencias (%) de la altura de plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	36
Figura 16: Valores mínimo, promedio y máximo del diámetro del tallo en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	38
Figura 17: Histograma de frecuencias (%) del diámetro de tallo de plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	39
Figura 18: Valores mínimo, promedio y máximo del Índice de Esbeltez (IE) en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	40
Figura 19: Histograma de frecuencias (%) del número de ramas por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	41
Figura 20: Valores mínimo, promedio y máximo del número de ramas por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	42
Figura 21: Histograma de frecuencias (%) del número de ramas por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	42

Figura 22: Valores mínimo, promedio y máximo la longitud de rama en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	44
Figura 23: Histograma de frecuencias (%) de la longitud de ramas en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	45
Figura 24: Valores mínimo, promedio y máximo del número de nudos por rama en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	46
Figura 25: Histograma de frecuencias (%) del número de nudos por rama en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	47
Figura 26: Valores mínimo, promedio y máximo de la longitud de entrenudo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo	48
Figura 27: Histograma de frecuencias (%) de la longitud de entrenudo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación	49
Figura 28: Valores mínimo, promedio y máximo de la longitud de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo...	50
Figura 29: Histograma de frecuencias (%) de la longitud hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	50
Figura 30: Valores mínimo, promedio y máximo del ancho de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo ...	51
Figura 31: Histograma de frecuencias (%) del ancho de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	52
Figura 32: Porcentaje de plantas con presencia de fruto en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	53

Figura 33: Frutos producidos por plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica y plantas control (0 Gy) en condiciones de campo a tres años del trasplante	54
Figura 34: Valores mínimo, promedio y máximo del número de frutos en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo ...	55
Figura 35: Histograma de frecuencias (%) del número de frutos por plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	56
Figura 36: Valores mínimo, promedio y máximo del peso de 100 frutos en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo ...	57
Figura 37: Valores mínimo, promedio y máximo del peso de café cerezo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo ...	58
Figura 38: Valores mínimo, promedio y máximo del número de frutos anómalos (%) por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	59
Figura 39: Anormalidades presentes en semillas de frutos producidos por plantas M1 de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica	60
Figura 40: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio superior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	61
Figura 41: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio medio, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.....	62
Figura 42: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio inferior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	63
Figura 43: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café por planta (promedio de tres tercios), a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo...	64

Figura 44: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café por planta durante toda la evaluación, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	65
Figura 45: Histograma de frecuencias (%) de la incidencia promedio por planta para toda la evaluación de la incidencia (%) de la roya del café en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	65
Figura 46: Variaciones de la respuesta de plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L var. Típica frente a la roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>) en condiciones de campo a los tres años del trasplante (1)	67
Figura 47: Variaciones de la respuesta de plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L var. Típica frente a la roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>) en condiciones de campo a los tres años del trasplante (2)	68
Figura 48: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio superior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	71
Figura 49: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio medio, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	72
Figura 50: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio inferior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	73
Figura 51: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café por planta (promedio de tres tercios), a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	74
Figura 52: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café por planta, durante toda la evaluación, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo	75

Figura 53: Histograma de frecuencias (%) de la incidencia promedio por planta para toda la evaluación de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo76

Figura 54: Agrupación de todas las plantas de café (*Coffea arabica* L. var. Típica) M1 y control en diferentes grupos o clústeres77

Figura 55: Comportamiento de las variables cuantitativas analizadas del PCA de los datos de evaluaciones en plantas M1 de *Coffea arabica* L. var. Típica (100 Gy) y control (0 Gy) en condiciones de campo78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Valores de las variables morfológicas cualitativas del comportamiento de plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	95
Anexo 2: Valores de las variables morfológicas cualitativas del comportamiento de plantas control (0 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	97
Anexo 3: Valores de las variables morfológicas cuantitativas del comportamiento de plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	98
Anexo 4: Valores de las variables morfológicas cuantitativas del comportamiento de plantas control (0 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	102
Anexo 5: Valores de las variables relacionadas con la producción de frutos por plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	103
Anexo 6: Valores de las variables relacionadas con la producción de frutos por plantas control (0 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	105
Anexo 7: Incidencia de la roya del café en plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	106
Anexo 8: Incidencia de la roya del café en plantas control (0 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	108
Anexo 9: Incidencia de la cercosporiosis del café en plantas M1 (100 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	109
Anexo 10: Incidencia de la cercosporiosis del café en plantas control (0 Gy) de <i>Coffea arabica</i> L. var. Típica en condiciones de campo	111
Anexo 11: Análisis de anomalías en relación con el inicio de lluvias esperado con respecto a datos históricos para la zona en estudio	112

Anexo 12: Anexo 12: Análisis de anomalías de precipitación durante la etapa de floración estimada con respecto a datos históricos para la zona de estudio	113
Anexo 13: Análisis de anomalías de precipitación durante todo el período de evaluación con respecto a datos históricos para la zona de estudio	114
Anexo 14: Ubicación y características de la zona en estudio	115

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento en condiciones de campo de la generación M1 de plantas de café (*Coffea arabica* L. var. Típica) derivadas de semillas secas inducidas con 100 Gy de rayos gamma luego de tres años de trasplantadas, en función de la supervivencia, las características morfológicas, producción de frutos y respuesta contra la roya y cercosporiosis del café. La tasa de supervivencia fue menor en las plantas M1 con valores de 20,6% frente a 38,4% del control. Se observaron formas de hoja diferentes en más del 32% de las plantas M1 y modificaciones en el ápice de la hoja en más del 27% de las plantas M1. El color de las hojas jóvenes varió del control en el 13% de plantas M1, mientras que para las hojas maduras difirieron el 7,8% de estas. En general, la altura fue menor en plantas M1, donde la mayoría tuvo valores inferiores a la mínima correspondiente a las plantas control; se observaron tendencias similares para el diámetro del tallo, número de ramas, longitud de ramas y longitud y ancho de hojas. Por otro lado, más del 30% de plantas M1 no produjeron ningún fruto, siendo 47 el número promedio de frutos por cada planta M1, en comparación con 520 de las plantas de control; además, menos del 2% de las plantas M1 produjeron similar número de frutos que las plantas control. Asimismo, el peso estimado de 100 frutos fue menor en plantas M1, mientras que el porcentaje de frutos anormales fue mayor para estas. La incidencia de la roya del café aumentó con el tiempo y fue mayor en los tercios inferiores en ambos grupos evaluados, pero en general, se observaron valores más bajos en las plantas M1, de las cuales el 25% tuvo menor incidencia que todas las plantas control.

Palabras clave: café, inducción mutaciones, variación, morfología, roya.

ABSTRACT

The behaviour under field conditions of the M1 generation of coffee plants (*Coffea arabica* L. var. Típica) derived from dry seeds induced with 100 Gy of gamma rays was evaluated in terms of survival, morphological characteristics, fruit production and response against coffee leaf rust and cercosporiosis. The survival rate was lower in M1 plants with values of 20.6% compared to 38.4% for the control. Different leaf shapes were observed on more than 32% of M1 plants and leaf apex modifications were observed on more than 27% of them. The colour of young leaves varied from the control in 13% of M1 plants, while mature leaves differed in 7.8% of M1 plants. In general, height was lower in M1 plants, where the majority had lower values than the minimum corresponding to control plants; similar trends were observed for stem diameter, number of branches, branch length and leaf length and width. On the other hand, more than 30% of M1 plants did not produce any fruit, with an average number of 47 fruits per M1 plant, compared to 520 for the control plants, and less than 2% produced a similar number of fruits as the control plants. Also, the estimated weight of 100 fruits was lower on M1 plants, while the percentage of abnormal fruits was higher for them. Coffee leaf rust incidence increased over time and was higher in the lower thirds in both groups tested, but in general, lower values were observed in M1 plants, 25% of which had lower incidence than all control plants.

Key words: Coffee, mutation induction, variation, morphology, rust.

I. INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de importancia a nivel mundial, tanto en lo económico como social, siendo sustento económico para más de 25 millones de familias en todo el mundo e involucrando a más de 223 mil familias productoras peruanas. A lo largo de su historia, la caficultura ha sufrido diversos traspies, lo que ha llevado a los sectores productivos a generar nuevas tecnologías frente a diversos problemas como la roya del café (*Hemileia vastatrix* L), fitopatógeno que reduce la productividad del cafetal de forma importante y es considerada la principal enfermedad que afecta a este cultivo (International Coffee Organization, 2019; MINAGRI, 2019b; Silva *et al.*, 2022).

El Perú no fue eximido de los problemas que debe enfrentar un sector tan vulnerable como la caficultura, lo que fue resaltado en la última gran devastación ocasionada por el hongo causante de la roya en los años 2013 y 2014, sacando a la luz grandes deficiencias presentes en el sector, entre los que se destaca el uso de variedades susceptibles a la roya (Típica y Caturra); en tal sentido, urge la necesidad de encontrar plantas resistentes a *H. vastatrix* y que se adapten a nuestras condiciones. Es importante mencionar que no existe un programa sólido de mejoramiento genético del café en el Perú. Además, las características genéticas, reproductivas y agronómicas de la especie *Coffea arabica* L. hacen que la obtención de variabilidad se vea limitada en gran medida, tomando muchos años para la obtención de variedades de interés mediante técnicas de mejoramiento convencional (Julca *et al.*, 2013; MINAGRI, 2019a).

Ante esto, y como objetivos generales del mejoramiento genético del café, se ha buscado el aumento de la productividad mediante cultivares resistentes a través de la inducción de mutaciones para el aumento de la variabilidad genética. No obstante, existe escasa información acerca del uso de esta técnica empleada en café en el Perú y en el mundo. En este contexto, el Grupo de Investigación Agricultura y Desarrollo Sustentable en el Trópico Peruano ha llevado a cabo un experimento pionero para encontrar materiales resistentes a la roya, de los cuales se obtuvo la generación M1 que fue evaluada en este trabajo (Quintana *et al.*, 2019; Vargas-Segura *et al.*, 2019; Riviello-Flores *et al.*, 2022).

En esa dirección, previo al estudio de la generación M2, en donde se inicia la selección de mutantes candidatos, es importante evaluar el comportamiento de la generación M1 en condiciones de campo con el objetivo de verificar el efecto de la radiación en cuanto a sobrevivencia, lesiones, crecimiento, morfología, fertilidad e incidencia de enfermedades; además, tener la garantía de la obtención correcta de semillas M2, asimismo, un mejor control y documentación del comportamiento de esta generación M1 y de las plantas de dónde provendrá esta segunda generación de potenciales mutantes (Maluszynski *et al.*, 2009; Mukhtar *et al.*, 2021; FAO/OIEA, 2021).

Ante lo expuesto, la presente tesis basa su importancia en identificar las principales variaciones debidas al efecto de la radiación gamma (100 Gy) en plantas M1 de *Coffea arabica* L. de la variedad Típica en condiciones de campo a los tres años de trasplantadas. Esto es de gran relevancia debido a que no existen estudios similares bajo las mismas condiciones y por tratarse de indicadores de algún efecto como posibles daños debidos a la radiación y sugerir el futuro éxito de la técnica de inducción de mutaciones empleada. Asimismo, la necesidad de generar variabilidad para resistencia frente a la roya del café en condiciones de Perú es apremiante al existir recientes reportes de la presencia de razas virulentas de este hongo que son capaces de romper la resistencia de las principales variedades empleadas por su respuesta frente a la mayoría de las razas antes presentes en el país (Silva *et al.*, 2020).

Por lo mencionado, se han planteado los objetivos de determinar los efectos de la radiación gamma (100 Gy) en plantas M1 de *Coffea arabica* L. de la variedad Típica en condiciones campo sobre su supervivencia, características morfológicas cualitativas y cuantitativas, producción de frutos y sobre estreses bióticos debidos a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y a la cercosporiosis del café (*Cercospora coffeicola*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

4.1.1. Origen del café

El cafeto (*Coffea arábica* L.) es originario de Abisinia (actual República de Etiopía), situado en la parte nororiental del continente africano (Barrenechea, 1986). En América se reportó en 1717, llegando primero a las islas del Caribe (principalmente Haití), luego a Cuba (León, 1968) de donde pasó a Sudamérica. En Perú se lo ha reportado desde 1760 en el valle de Chinchao, en el departamento de Huánuco (Barrenechea, 1986). Su base genética es muy estrecha, y todos los cultivares conocidos del café arábica son derivados de las variedades Típica y Bourbon (Carvalho, 2007; Anthony *et al.*, 2001).

La primera descripción botánica de la planta de café fue propuesta por el botánico italiano Prospero Alpino en dos obras *De Medicina Aegyptiorum* y *De Plantis Aegypti Liber*, publicadas en los años 1591 y 1592, respectivamente; mientras que Antoine Jussieu la clasificó por primera vez como *Jasminum arabicum* en su obra *Histoire Du Café*, publicada en 1716 (de França *et al.*, 2015). Posteriormente, en el año 1737, Carl Von Linné fue quien realizó la reclasificación de la especie, denominándola *Coffea arabica* (Martins, 2008).

4.1.2. Importancia global y nacional

El café es un cultivo que ha afectado y participado en la historia política, económica y social de muchos países alrededor del mundo. Actualmente es uno de los productos agrícolas con mayor importancia en el comercio internacional, beneficiando económicamente a cada uno de los actores a lo largo de su cadena productiva y siendo el sustento de más de 25 millones de familias productoras, además de los demás involucrados en el comercio de este producto. Adicionalmente, según el PNUD, el 20% de los países productores de café en el mundo se ubican en una posición de bajo índice de desarrollo humano (IDH menor de 0.5) (International Coffee Organization, 2019).

La producción comercial del café está basada principalmente en el cultivo de las especies *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre, representando el 58 y 42 por ciento de su producción global estimada para el año 2020, respectivamente. En lo referente a la producción de café en general, Brasil destaca como el mayor productor mundial con un 35.5% de participación, seguido de Vietnam y Colombia, encontrando al Perú en la octava posición. Mientras que, con respecto a la producción de café arábico, Brasil nuevamente es el principal actor con un 43.7% de participación, seguido de Colombia con un 14.7%, encontrando al Perú posicionado como el quinto mayor productor con un 4.8% de participación (MINAGRI, 2020).

En cuanto a las exportaciones, Brasil es el más destacado con 36.6 millones de sacos de 60 Kg, seguido de Vietnam, y Colombia, encontrando a Perú como el octavo exportador mundial de café con 4.3 millones de sacos. Con respecto a la importación de café, destacan la Unión Europea, seguido de los Estados Unidos y Japón (MINAGRI, 2020). Además, en lo referente a cafés orgánicos, el Perú destaca por ser el tercer principal productor, después de México y Etiopía (ICO, 2019).

4.1.3. El cultivo de café en el Perú

En el Perú se produce principalmente el café arábico (*Coffea arabica* L.), destacando la producción de cafés convencionales, y en menor grado los cafés especiales y orgánicos. Estos últimos representan del 20 al 25% del total de exportaciones, diferenciándose con una calidad marcadamente superior y un mejor precio en contraste con los cafés convencionales (MINAGRI, 2020). Entre las variedades presentes en el territorio, se encuentran en mayor parte Típica, Caturra, Catimor, Pache y Bourbon (MINAGRI, 2019a).

La producción de café en el Perú se encuentra íntimamente relacionada a la agricultura familiar, en donde el 95% de productores poseen menos de 5 hectáreas, involucrando a más de 223 mil familias productoras, de las cuales sólo el 30% pertenecen a alguna organización y poseen en promedio nacional menos de 2 hectáreas de superficie de unidad agropecuaria. Además, un tercio del empleo agrícola está relacionado con el mercado del café (MINAGRI, 2019b).

El Perú posee más de 425 mil hectáreas dedicadas al cultivo del café, representando el 6% del área agrícola nacional y el 25% del área en la Amazonía peruana. Las áreas productivas se concentran en los valles interandinos y la cordillera oriental de los Andes,

sobre la Selva Alta peruana (1000-2000 msnm), resaltando las regiones de San Martín y Junín, representando ambas el 54.5% del total de la producción nacional (PNUD, 2017).

Adicionalmente, según el USDA (2020), la producción de café en el Perú se da a lo largo de la vertiente oriental de los Andes, en donde la producción es casi en su totalidad perteneciente a la especie *C. arabica* como los cultivares Típica, Caturra y otras, las cuales representan el 70, 20 y 10% de la producción total, respectivamente. La producción de café en la región se da en su gran mayoría en sistemas asociados bajo sombra, y las labores culturales se realizan básicamente a mano.

4.1.4. Clasificación taxonómica

El café arábico (*Coffea arabica* L.) pertenece a la familia Rubiaceae, la que está compuesta por aproximadamente 500 géneros y 6000 especies (Davis *et al.*, 2011; citados por Ferreira *et al.*, 2019).

Según el USDA (2020), el café se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Subreino: Trachebionta

Subdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea* L.

Especie: *Coffea arabica* L.

4.1.5. *Coffea arabica* L. var. Típica

El material Típica es la variedad tipo de la especie y es conocida localmente como la variedad Arábico, Común, etc. Su descubrimiento fue a partir de hallazgos en su forma silvestre en Etiopía. Se ha indicado que su altura puede llegar hasta más de 450 cm en crecimiento libre, caracterizándose por ser un arbusto cónico de porte medio a alto y que mayormente presenta un solo tallo principal ortotrópico desde el cual ramifican muchas ramas plagiotrópicas productivas, siendo mayormente escasas las ramas terciarias y secundarias. Sus hojas son de forma lanceolada con bases y ápice agudos, con superficie y textura, lisa y fina, respectivamente. Sus brotes nuevos son de color bronceado, mientras que sus hojas maduras son verde oscuras, ligeramente coriáceas y con el margen poco ondulado. Además, sus frutos son de color rojo, lisos y brillantes, los que contienen semillas grandes. Se caracteriza por tener una muy buena calidad en taza (Guimarães *et al.*, 2008; Blas *et al.*, 2011).

4.1.6. Genética y biología reproductiva

La especie *Coffea arabica* es alotetraploide ($2n = 4x = 44$) y se formó hace aproximadamente 50 000 años a partir de la hibridación natural entre las dos especies relacionadas *C. canephora* y *C. eugenioides*. Se reproduce principalmente de forma autógama (90 a 95% de autopolinización), a diferencia de *C. canephora*, quien es principalmente de polinización cruzada. Sus flores presentan corola blanca, forman glomérulos y poseen cáliz rudimental denticulado (Guimarães *et al.*, 2008; Herrera y Cortina, 2013).

Se ha indicado que existe una condición homocigota dominante (*TT NaNa*) que controla el fenotipo de la variedad Típica en dos loci genéticos y que, a partir de cualquier variación en su constitución, se vería alterado el fenotipo. Asimismo, parece existir una relación epistática entre los alelos *T* con *na* y que *Na* presenta dominancia parcial frente a *tt*. Además, se ha indicado que el color de los frutos está gobernado por un gen con dos alelos, habiendo dominancia incompleta del alelo *Xc* sobre el alelo *xc*, siendo así que los genotipos *XcXc*, *Xcxc* y *xcxc*, exhiben como fenotipo los colores de fruto rojo, anaranjado con estrías amarillas y amarillos, respectivamente (Guimarães *et al.*, 2008).

En cuanto a la genética de la resistencia frente a la roya del café, esta es condicionada al número de genes mayores dominantes (*SH*), lo que logra clasificar a los genotipos del café

en grupos de resistencia de acuerdo a la interacción con las razas fisiológicas del patógeno. De esta forma, el grupo denominado A, expresa resistencia del hospedante frente a todas las razas identificadas del fitopatógeno, mientras que el grupo E, que incluye a las variedades tradicionales Típica y Bourbon, cultivares susceptibles a la mayoría de razas (Eskes, 2005).

4.1.7. La roya del café (*Hemileia vastatrix*)

El hongo *Hemileia vastatrix*, reportado por primera vez en Perú el año 1979 en la localidad de Satipo, es el fitopatógeno más importante del café y agente causal de la roya del café, enfermedad más devastadora de este cultivo y que causa pérdidas económicas importantes. Este hongo Basidiomiceto del orden de los *Uredinales* y familia *Pucciniaceae*, afecta a las plantaciones de café en todas las partes del mundo en donde se produce este cultivo, es un parásito obligado que presenta un ciclo de vida “completo” aún desconocido. Recientes estudios de la biología poblacional a escala global de *H. vastatrix* han inferido que su modo de reproducción es asexual, indicándose como poblaciones clonales; no obstante, presentando una elevada variabilidad genética e identificándose la existencia de más de 50 razas fisiológicas (Zambolim *et al.*, 2005; Julca *et al.*, 2013; Ramirez-Camejo *et al.*, 2021; Zambolim y Texeira, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Los signos característicos de la roya del café son las pústulas que se observan en el envés de las hojas, donde aparecen manchas de coloración amarillas de tono pálido, con diámetros iniciales de 1 a 3 mm, las que se desarrollan hasta los 2 cm de diámetro, logrando un aspecto pulverulento, siendo estas uredosporas de color amarillas a naranjas. Asimismo, en el haz de las hojas se aprecian manchas cloróticas amarillas que corresponden a los límites de las pústulas desarrolladas en el envés, posteriormente se observa la necrosis de estas zonas. En condiciones de sombra y alta humedad relativa, es común apreciar al hongo *Verticillium hemileiae*, de aspecto blanquecino y pulverulento, colonizando a *H. vastatrix* (Zambolim *et al.*, 2005; Julca *et al.*, 2013).

4.1.8. La cercosporiosis del café (*Cercospora coffeicola*)

La cercosporiosis del café, también denominada mancha de hierro del café, es una de las enfermedades más antiguas de este cultivo en América. El agente causal es el hongo *Cercospora coffeicola*, del orden de los *Moniliales* y familia *Dematiaceae*, patógeno necrótrofo que ocasiona manchas foliares concéntricas en el café, especialmente en

plantaciones con deficiente o inadecuado equilibrio nutricional y exceso de exposición al Sol (Zambolim *et al.*, 2005).

El patógeno puede afectar en todas las fases de desarrollo del cultivo e infectar hojas, frutos (especialmente cercanos a maduración) y ocasionalmente tallos. Los síntomas foliares se presentan en el haz como lesiones necróticas circulares de 0.5 a 0.8 cm de diámetro, con borde externo marrón y zona central blanca a gris, estando estos de forma concéntrica y encerradas por un borde mayor circular clorótico; asimismo, en la parte central clara o gris de la mancha necrótica concéntrica se logran apreciar puntuaciones oscuras que constituyen las estructuras de fructificación o esporoquios del patógeno. El mayor problema causado por esta enfermedad es la defoliación, siendo indicado que una sola lesión por hoja puede ser suficiente para la caída de esta. Con respecto al fruto, estos se muestran con manchas negras o marrones oscuras, deprimidas y secas, de forma elíptica, similares a quemaduras solares, que dificultan el despulpado y aceleran la maduración del fruto (Zambolim *et al.*, 2005; Martins *et al.* 2008).

4.2. Mejoramiento genético del café

El mejoramiento genético en café busca obtener nuevas variedades con características de interés. Históricamente el objetivo fue mejorar la productividad, no obstante, con los avances tecnológicos se persiguieron mayores objetivos como resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a estreses abióticos, se pasó de la búsqueda de productividad individual por planta a una productividad de la población de plantas por área, y búsqueda de calidad del producto final (Medina, *et al.* 2008).

Es importante resaltar que las características del café, al ser una planta perenne, hacen que su mejoramiento para productividad y otros atributos agronómicos de interés demanden mucho tiempo, dificultando así el trabajo de los mejoradores y considerando además de que los problemas bióticos, ambientales, y especialmente financieros, ocurren durante las evaluaciones de los cafetales por varios años seguidos (Alves *et al.*, 2010).

4.3. Mutaciones

Las mutaciones son alteraciones de la secuencia de ADN que se traducen en cambios en la expresión genética, los que producen diferentes efectos en los seres vivos y que han cumplido un rol importante en la selección natural; siendo estos fenómenos de ocurrencia

natural y espontánea o por inducción de algún factor externo, y que ha sido, junto a los cruzamientos artificiales, la principal forma de crear variabilidad para el mejoramiento de plantas (Klug *et al.*, 2006; Thomas, 2012).

4.3.1. Tipos de mutaciones

Como fue mencionado, las mutaciones pueden clasificarse de acuerdo con su origen, llegando a ser naturales o inducidas, dándose las primeras de forma espontánea y en ausencia de influencia externa, ocurriendo en una frecuencia muy reducida; mientras que la segunda consiste en el uso de agentes mutagénicos con la finalidad de aumentar su frecuencia de ocurrencia (Donini y Sonnino, 1998; Poehlman y Allen, 2003; Able y Langridge, 2006; Waugh *et al.*, 2006; Acquaah, 2012).

Por otro lado, las mutaciones también pueden ser clasificadas en función del tipo de efecto producido sobre el material genético, mencionándose las mutaciones génicas o puntuales las que afectan a una base o solo un número pequeño de estas, y que necesitan análisis moleculares para su detección precisa, estando además incluidas en este tipo de mutaciones las adiciones, deleciones y sustituciones. Otro tipo de mutaciones de acuerdo con el daño o cambio ocasionado son las mutaciones cromosómicas, que afectan a uno o varios de estos, implicando deleciones, inserciones, inversiones, traslocaciones o reordenamientos; siendo conocidas también como aberraciones cromosómicas y ocurriendo en una tasa de 10^{-6} por ciclo celular (Klug *et al.*, 2006; Oliva y Vidal, 2006; Acquaah, 2012).

Por último, las mutaciones genómicas, son aquellas que implican el cambio de ploidía, subclassificándose en aneuploides y euploides, siendo las primeras en referencia al aumento (hiperploide) o pérdida (hipoploide) de cromosomas; mientras que los otros se refieren a variaciones del número de juego de cromosomas, pudiéndose dar una haploidía (si es que el juego disminuye) o poliploidía (cuando el juego aumenta) (Klug *et al.*, 2006).

4.3.2. Agentes mutagénicos

De acuerdo con Cubero (2003) un agente mutagénico debe tener la suficiente efectividad sobre el material hereditario para ocasionarle cambios estructurales, así como también debe ser inocuo, relacionándose con este último punto el término de dosis letal media (DSLO), que es la dosis que mata al 50% de los individuos tratados.

Por otro lado, los agentes mutagénicos clásicos pueden dividirse en dos grupos en función de su naturaleza, pudiendo ser físicos o químicos. Dentro de los agentes físicos se encuentra las categorías de ionizantes y no ionizantes, siendo los ionizantes las más utilizados para la inducción de alteración de caracteres en cultivos, incluyéndose en esta categoría a los rayos X, rayos gamma, rayos beta, neutrones y haces de iones de alta energía (Madigan *et al.*, 2009; Suprasanna *et al.*, 2015).

Con respecto a los mutágenos químicos, estos se clasifican de acuerdo a su modo de acción, estando entre estos los análogos de bases como el 5-Bromouracilo o la 2-Aminopurina, que se incorporan en el ADN en el lugar de las bases timina y adenina; los agentes que reaccionan con el ADN y que actúan sobre este cuando no se está replicando, ocasionando cambios químicos en sus bases constituyentes; los agentes alquilantes, afectando también al ADN que no se replica, teniendo como ejemplo al etil metano sulfonato (EMS), metil metano sulfonato (MMS), dietil sulfato (DES), etc. (Novak y Brunner, 1992).

4.4. Radiación ionizante gamma

La radiación gamma es del tipo ionizante y consta de rayos de alta frecuencia, constituidos por protones que penetran en la célula y la ionizan, siendo ahí en donde interactúan con átomos y producen radicales libres, los que dañan o causan la interrupción de procesos normales de la célula, pudiendo afectar la fisiología, morfología, anatomía y/o bioquímica de las plantas. El efecto de este tipo de radiación es dependiente de la dosis, en donde bajas dosis causan menos efectos secundarios y altas dosis afectan gravemente el fenotipo de la planta. Además, estos rayos gamma pueden activar mecanismos de defensa de la planta frente al daño, así como también pueden ser favorables para la generación de mutantes superiores (Ali *et al.*, 2015).

De esta forma, las mutaciones se originan al darse roturas de los enlaces químicos en la molécula de ADN, eliminando un nucleótido o sustituyéndolo por otro. Es importante que la dosis aplicada sea la correcta, influyendo esto en la intensidad y la duración de la exposición específicas necesarias, siendo que el éxito de las mutaciones no está necesariamente relacionado con una dosis mayor (Acquaah *et al.*, 2012). A pesar de las limitaciones al acceso de las fuentes que originan este tipo de radiación, aproximadamente el 70% del total de cultivares generados a través de la inducción de mutaciones han sido

originados por el uso de radiación gamma, al haber aumentado la tasa natural de mutación de 1000 a 1 millón de veces (OIEA).

4.5. Inducción de mutaciones

La inducción de mutaciones es un proceso aleatorio mediante el uso de radiación o de mutágenos químicos, teniendo como objetivo acelerar la ocurrencia de las mutaciones espontáneas, que se dan a una muy baja frecuencia (1/1000000); siendo el efecto de este proceso dependiente del tipo de agente mutagénico utilizado y de la dosis suministrada (Ortiz, 2015; Jankowickz-Cieslak *et al.*, 2017).

Uno de los objetivos con éxito de la inducción de mutaciones ha sido el mejoramiento genético de plantas. Para esto, se debe partir de un material parental que reúna características deseables y le falte unas pocas, debiendo seleccionarse variedades adaptadas a la zona de estudio. El éxito de esta técnica no solo dependerá del efecto de la mutación, sino de la adaptabilidad, resistencia, calidad y rendimiento de la futura línea mutante, características que podrían estar presentes en el material parental (Jankowickz-Cieslak *et al.*, 2017; Riviello-Flores *et al.*, 2022).

El mejoramiento de plantas mediante inducción de mutaciones consta de tres etapas: la inducción de mutaciones, la selección de candidatos a mutantes putativo y la prueba de los mutantes para su posterior liberación oficial. Este método de mejoramiento se ha utilizado en gran medida y ha sido exitoso en la mayoría de especies, siendo la selección de mutantes candidatos el paso más laborioso, lo que va de la mano de un fenotipado muy intenso y complejo (Cobb *et al.* 2013; citados por Jankowickz-Cieslak *et al.*, 2017).

Esta técnica ha resultado de gran utilidad para producir variaciones genéticas que otorguen características deseadas en cultivos en donde no existen o dejaron de manifestarse debido al proceso evolutivo (Novak y Brunner, 1992). No obstante, el uso de agentes mutagénicos para generar variabilidad genética requiere de técnicas precisas para la evaluación de características morfológicas, fisiológicas y/o moleculares para lograr identificar y caracterizar los nuevos genotipos y sus progenies, y luego, evaluar la estabilidad en el tiempo del carácter mejorado (Mukhtar *et al.*, 2018).

4.5.1. Inducción de mutaciones en semillas

Si bien el uso de radiación para inducir las mutaciones ocasiona graves daños a la célula en diferentes aspectos, es aun el método más empleado para la creación de cultivares mutantes (Ortiz, 2015). El proceso de inducción comienza con el tratamiento de semillas M0 con el agente mutagénico, identificando las condiciones que permitan que un número suficiente de semillas produzca una población en la primera generación (M1) en cantidad, fertilidad y variabilidad necesarias para generar la segunda generación (M2); esto se da teniendo en cuenta de que uno de los efectos secundarios del tratamiento con agentes mutagénicos es la esterilidad. Además, al ser la semilla un organismo multicelular, una planta de la generación M1 podría ser quimérica, teniendo la posibilidad de que exista competencia entre el tejido mutado y el normal durante su desarrollo vegetativo (diplóntica), así como también competencia entre polen mutado y natural durante el proceso de fertilización (haplóntica), al ser elegido entre los tejidos constituyentes de la semilla de la planta (Acquaah, 2012).

Por otro lado, un punto crucial en este método es el proceso de identificar mutantes con el fenotipo de interés, incluyendo la selección de los mutantes candidatos y la confirmación de estos. Esta técnica puede favorecer al desenmascaramiento de nuevos alelos para su uso posterior en la generación de nuevos cultivares. Bajo esta modalidad, las características que se han buscado son rendimiento, calidad, características morfológicas, resistencia a plagas y enfermedades, adaptación al ambiente, mejor calidad y vida postcosecha (Mba, 2013; Ortiz, 2015).

4.5.2. Manejo de la generación M1

Las plantas M1 son las obtenidas a partir de la germinación de las semillas M1, las que provienen de la irradiación de las semillas M0. Mientras que las plantas M2 son obtenidas a partir de la germinación y desarrollo de las semillas M2, obtenidas estas de las plantas M1. En cuanto al número de individuos recomendado para la generación M1, este es mucho menor que para generaciones posteriores (Maluszynski *et al.*, 2009).

Usualmente las mutaciones dominantes son expresadas en la generación M1, mientras que las recesivas son apreciables durante la M2 (Acquaah, 2012); además, Borém *et al.* (2008), indican que los daños fisiológicos (como retardo de crecimiento y muerte) son restringidos a la generación M1, mientras que las mutaciones génicas y aberraciones cromosómicas

pueden ser transferidas a la M2 y sucesivas generaciones. En esa misma dirección, Poehlman y Allen (2003), indican que las mutaciones génicas pueden ser recesivas o dominantes, siendo las primeras las más comunes y, para el caso de una planta homocigótica que sufre una mutación en el tejido somático, usualmente esta se expresa en la siguiente generación luego de la irradiación (M2), esto debido a que el gen antes homocigoto se encontrará en forma heterocigótica y será posible su detección fenotípica luego de la segregación como resultado de la autofecundación.

Por otro lado, es de importancia conocer que las generaciones M1 son equivalentes a una generación F1 segregante, pues la M1 es poseedora de distintas mutaciones, siendo posible su posterior selección mediante los métodos empleados para una F2 segregante, tales como selección masal, de descendencia de una sola semilla o de pedigree. Es así como, debido a los efectos fisiológicos, además de las posibles quimeras a presentarse en las plantas y de la recesividad de las mutaciones en la generación M1, la selección debe iniciarse a partir de la generación M2 (Borém *et al.*, 2008; Aqcuah, 2012).

En esta generación M1 es posible observar efectos somáticos, lo que influirá en la cantidad de semillas a utilizarse en las siguientes generaciones para tener éxito en la selección del fenotipo deseado a partir de la generación M2. Estos efectos somáticos, tras la irradiación, pueden evaluarse en función al retraso de la germinación de las semillas, el nivel de alteraciones en el ciclo celular, la frecuencia de aberraciones cromosómicas en tejidos meristemáticos, la reducción de la emergencia de las plántulas, reducción del crecimiento de las plántulas y crecimiento de la planta, aparición de defectos de clorofila, reducción de la fertilidad y la supervivencia de las plantas. Es importante medir los parámetros de crecimiento, fertilidad y sobrevivencia en la madurez de la generación M1 (Maluszynski *et al.*, 2009).

Es muy importante mantener las condiciones óptimas durante el desarrollo de las semillas irradiadas y posteriores plantas M1, otorgando un suelo húmedo, rico en nutrientes y todas las prácticas de manejo del cultivo necesarias, pues estas plantas son mayormente muy sensibles frente a los estreses y requieren de estas condiciones favorables, además de estar libres de estreses bióticos y/o abióticos para ser capaces de producir adecuadamente las semillas de la generación M2. Adicionalmente, las plantas M1 deberían ser aisladas de otras plantas no tratadas o de la misma especie, especialmente si presentan polinización cruzada, teniendo en cuenta además que el cruzamiento se verá aumentado debido a la

esterilidad ocasionada en los granos de polen como efecto de la radiación, y que el autocruzamiento es fundamental para el éxito de la futura selección (Maluszynski *et al.*, 2009).

En cuanto a la cosecha de las plantas M1, es importante la decisión en función de los objetivos planteados y recursos disponibles para explotar la posible variación genética inducida. El tipo de cosecha dependerá de muchos factores, entre ellos la biología reproductiva de la especie, la mano de obra, el método de selección a elegir, el objetivo de la reproducción y el posible tamaño de la generación M2. De esta forma, se puede cosechar una sola semilla por planta o realizar una cosecha masiva de todas las parcelas o plantas M1 para el desarrollo de la población M2. En los programas de mejoramiento es más frecuente que se cosechen y siembren juntas unas cuantas espigas, vainas o frutos de cada planta de la generación M1; no obstante, es posible realizar la cosecha por de cada espiga, vaina o fruto por cada planta M1 por separado y sembrar estas mediante un método de espigas, vainas o frutos por fila (Maluszynski *et al.*, 2009).

Es importante mencionar que todos los métodos de selección de genotipos mutantes en plantas reproducidas por vía sexual son derivados del método de pedigree, teniendo en cuenta la posibilidad de formación de quimeras en la generación M1; además, estos métodos toman en cuenta las características de la genética a nivel poblacional de todos los individuos del grupo en estudio, pues la frecuencia del gen puntual o fenotipo inducido por mutación en la población M1 será bastante menor que uno introducido en una F1 mediante hibridación (Mukhtar *et al.*, 2018). De esta forma, se deberá elegir el método más adecuado, tomando en cuenta las circunstancias en que está el estudio y la población en estudio, previendo, además, de que el éxito dependerá de un buen tamizaje de los fenotipos mutantes deseables en M2, M3 o M4 (Priyadarshan, 2019).

4.5.3. Mutaciones en café y resultados de la inducción de estas en la generación M1

Según Anthony *et al.* (1999), en el proceso de selección de variedades de café de interés se han presentado casos en donde se ha encontrado una planta producto de una mutación natural, tal es el caso de la variedad Caturra, no obstante, la selección a partir de esta fue más rápida a diferencia de una selección por cruzamientos, pues en este caso se derivó de una F1 casi homocigota y que difería de la planta madre únicamente en el gen en el que ha mutado. Asimismo, análisis genéticos han revelado variaciones explicadas por la mutación de un solo gen, siendo las más importantes las referidas al tamaño de la planta, forma y

color de fruto, color de hoja, y además, el color de brote de la hoja joven, el que mayormente cambió de bronce oscuro (debido a una dominancia incompleta) a verde claro (Wintgens, 2004).

Ante esto, es importante tener en cuenta el carácter que se busca inducir a partir de la inducción de mutaciones, pues al ser estas distinguibles, están sujetas a un posterior manejo similar al de un mejoramiento convencional; no obstante, debe tenerse en cuenta de que los agentes mutagénicos podrían ocasionar, además de la característica primaria deseada, un efecto secundario. En el caso específico de las variedades de café, entre las características deseadas están su morfología con relación a su facilidad de manejo y el tipo de producción, resistencia a plagas y enfermedades y su calidad en taza (Guerreiro *et al.*, 2008; Acquaah, 2012).

En cuanto a resultados obtenidos en generaciones M1 de quinua (*Chenopodium quinoa* Willt.) en condiciones de campo, Gómez-Pando y Eguliz (2013) indicaron haber encontrado diferencias entre plantas provenientes de semillas irradiadas (150, 250 y 350 Gy) y control, observando un mayor tiempo para el desarrollo de hojas en las irradiadas y menor sobrevivencia en las primeras (Gómez-Pando, 2015).

Slabbert *at al.* (2004), indicaron que, tras el tratamiento con radiación gamma (180 Gy) en semillas de *Amaranthus tricolor*, las plántulas M1 resultantes fueron sembradas y sometidas estrés hídrico, en condiciones de campo y en invernadero, lográndose selección plantas tolerantes en esta generación, las que mantuvieron esta característica en generaciones posteriores, pudiendo seleccionar genotipos de líneas tolerantes en la generación M5, las que presentaron mecanismos de evasión, tolerancia y recuperación rápida frente al estrés hídrico (Mayta, 2016).

Mayta (2016), en estudios de dosimetría de rayos gamma sobre cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), encontró que el efecto de la radiación gamma estuvo directamente relacionado con la dosis empleada. Bajo condiciones de campo, obtuvo reducción de la germinación, sobrevivencia y altura de las plántulas; asimismo, determinó el rendimiento por tratamiento en función del peso total de granos cosechados al final del ciclo de cultivo, obteniendo reducciones de los rendimientos en la M1, estando esto en relación con la dosis empleada. Explicó la reducción del rendimiento como efecto de la radiación sobre el vigor de las plantas y de esterilidad.

Arisha *et al.* (2015), encontraron variaciones fisiológicas en un estudio de inducción de mutaciones con EMS (0.6 % v/v) sobre pimiento (*Capsicum annuum* L.). Indicaron que hubo diferencias entre el tratamiento y el control en cuanto comportamientos de crecimiento (incluyendo altura de la planta), fecha de floración y número de semillas por fruto, en la generación M1. Adicionalmente, en esta misma generación, hallaron variaciones fenotípicas en cuanto a forma y color de la hoja y arquitectura de la planta, además de esterilidad masculina. Un año antes, indicaron que solo las mutaciones dominantes son posibles de detectar en la generación M1; no obstante, es posible detectar algunas señales de indicio de la eficiencia de la mutagénesis en esta generación, estando esta función a cambios clorofílicos, la esterilidad del polen, reducción de altura, floración tardía o temprana y hojas rizadas (Arisha *et al.*, 2014).

Por su parte, Siddique *et al.* (2020), en un estudio para la obtención de mutantes de pimiento mediante el uso de EMS, encontraron para la generación M1, fenotipos distintos para la altura de la planta, color de follaje y desarrollo de la inflorescencia, resaltando en frecuencia el fenotipo de individuos sin flores y encontrando individuos que solo presentaron crecimiento vegetativo; también detectaron individuos con esterilidad masculina. Señalaron a estas dos últimas características como indicadores de un posible futuro éxito en la inducción de mutaciones; sin embargo, no todas las características en la M1 fueron heredables para las siguientes generaciones, siendo posible observar en estas, los fenotipos relacionados a la esterilidad y altura de la planta.

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del campo experimental

Este trabajo fue la secuencia de la investigación desarrollada por Quintana *et al.* (2019), quienes irradiaron semillas secas (M0) de café (*Coffea arabica* var. Típica) y luego evaluaron la radiosensibilidad, luego trasplantaron las plántulas irradiadas a 100 Gy en un campo frente al Banco de Germoplasma del café y contiguo a otro con variedades brasileñas de café durante enero del año 2018 en el Fundo La Génova. Las evaluaciones se llevaron a cabo en el campo en mención, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria La Molina (San Ramón, Chanchamayo, Junín; a una altitud de 965 m.s.n.m, y ubicado en la latitud 11° 5'44.62"S y longitud 75°21'8.49"O), desde febrero 2021 hasta junio 2021 (5 meses).



Figura 1: Ubicación del área de evaluación en el Fundo Génova de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Fuente: Google Earth).

3.2. Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en un campo en donde fueron trasplantados plantones provenientes de semillas secas tratadas con radiación gama (100 Gy), luego de haberseles realizado las pruebas de radiosensibilidad correspondientes y encontrar diferencias morfológicas en la fase de vivero, con respecto al testigo (0 Gy). En total se trasplantaron 816 individuos M1 en enero del 2018, pero solo 175 lograron establecerse en campo; además se trasplantaron individuos control. Las evaluaciones iniciaron en la segunda fase de maduración de fruto que experimenta la plantación, durante la fase III de desarrollo del fruto. Primeramente, se realizó la limpieza del campo (desmalezado, recojo y trozado de troncos y ramas de árboles caídos, etc.). Seguido a esto, se realizó la aplicación de cebos contra las hormigas cortadoras de hojas. Luego, se evaluó el porcentaje de sobrevivencia en campo y seguidamente, se procedió con la fertilización en todas las plantas. Posterior a ello se enumeraron las plantas y se colocó una marca diferencial en las que presentaron frutos. Se instalaron trampas caseras para el control de la broca del café con el objetivo de limitar el daño de esta plaga en las semillas M2, las que fueron cosechadas y evaluadas para estimar la esterilidad, y además fueron sembradas por otro estudiante quien inició su evaluación en vivero.



Figura 2: Acondicionamiento y limpieza del campo de evaluación.

Para las evaluaciones, se tomaron al azar 10 plantas control y todas las plantas M1 sobrevivientes, las que fueron finalmente 115 (no se evaluaron plantas con daños ocasionados por la caída de árboles u otros). Siguiendo las indicaciones del Manual de Mejoramiento por Mutaciones para las evaluaciones en campo de la generación M1 de cultivos propagados por semilla (Mukhtar *et al.*, 2021), se evaluó la sobrevivencia (como fue mencionado anteriormente), características de crecimiento y morfológicas, presencia de lesiones y esterilidad en función de la producción de frutos. Además, se evaluó la incidencia de roya (*Hemileia vastarix*) y cercospora (*Cercospora coffeicola*). Las evaluaciones se realizaron aproximadamente cada cuarenta días, durante 5 meses.

3.3. Análisis de datos

Se siguieron las pautas dadas por el IPGRI para análisis de variabilidad fitogenética. Previo al análisis, se creó una matriz básica a partir de la data de las evaluaciones. En las filas de la matriz se colocaron los códigos de cada una de las plantas y en las columnas se colocarán los datos para cada característica (Franco e Hidalgo, 2003).

3.3.1. Estadísticos básicos

Se analizó la variabilidad morfológica y de crecimiento, esterilidad y/o producción de frutos, asimismo el comportamiento frente a estreses bióticos en todas las plantas evaluadas, para lo cual se realizó el análisis a través de gráficos de barras para cada una de las variables con ayuda del *software* Excel. Se trabajó con tablas de frecuencia para lograr establecer de forma gráfica los resultados a través de histogramas. Para las plantas control (10), se determinó el coeficiente de variación entre repeticiones.

3.3.2. Análisis multivariado

Se empleó el análisis multivariado debido a la gran cantidad de características evaluadas. Con la finalidad de agrupar a los individuos en función de las características que presentaron, se realizó el análisis de componentes principales y de conglomerados o clúster, adicionalmente se realizó el análisis de biplot para sugerir las características que mejor explicaron las diferencias obtenidas. Se empleó el software R, siendo esto con fines demostrativos y no concluyentes.

3.4. Variables evaluadas en el experimento

Se siguieron las indicaciones dadas en el IPGR (1996), considerando lo recomendado a evaluar en la generación M1 en campo, como fue mencionado anteriormente.

3.4.1. Supervivencia en campo

- Supervivencia (%), se obtuvo a partir del número total de plantas trasplantadas sobrevivientes entre el número total de plantas trasplantadas, multiplicado por cien.

3.4.2. Características morfológicas cualitativas

- Forma de estípula, se realizó la codificación en función a las formas (1) redonda, (2) oval, (3) triangular, (4) deltoide o triángulo equilátero, (5) trapeciforme y (6) otro.
- Forma de hoja, se codificó la hoja de acuerdo con (1) abovada, (2) ovada, (3) elíptica, (4) lanceolada y (5) otra.
- Forma de ápice, se codificaron los ápices de acuerdo con su condición de (1) redonda, (2) obtusa, (3) aguda, (4) puntiaguda, (5) apiculada, (6) espatulada y (7) otro.
- Color de hoja joven, se codificó de acuerdo con su condición (1) verdusca, (2) verde, (3) amarronada, (4) marrón rojizo, (5) bronce y (6) otro.
- Color de hoja madura
- Presencia de ramas secundarias

3.4.3. Características morfológicas cuantitativas

- Altura de planta (cm), se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice de la yema terminal (Julca et al., 2002).
- Diámetro de tallo (mm), se tomó con ayuda de un vernier, aproximadamente a 2 cm del cuello de planta (Julca et al., 2002).
- Índice de esbeltez (IE), se calculó el parámetro de $IE = A/D$; siendo A la altura de la planta en centímetros, y D, el diámetro del tallo en milímetros (Orozco et al., 2010).
- Número de ramas, se contó el número de ramas primarias por planta.
- Longitud de rama (cm), se midió la longitud de la rama mejor desarrollada del tercio medio y se marcó esta rama para evaluaciones posteriores.
- Número de nudos, se determinó el número de nudos en la rama mejor conformada en el tercio medio de la planta.

- Longitud de entrenudos, se calculó la longitud del entrenudo en la porción central de la rama mejor conformada en el tercio medio de la planta (Blas *et al.*, 2011)
- Longitud de hoja (cm), se midió a partir del pecíolo hasta el ápice en hojas adultas (Blas *et al.*, 2011)
- Ancho de hoja (cm), se tomó la medida de la extensión en el punto más ancho en hojas adultas (Blas *et al.*, 2011).

3.4.4. Características de producción de frutos

- Producción de frutos, se evaluó en función a la ausencia o presencia de frutos en cada planta. Se determinó el porcentaje de plantas productoras de al menos un fruto en los individuos irradiados y no irradiados. Se marcaron las plantas productivas.
- Número de frutos por planta, se contó el número total de frutos por planta en el material irradiado y no irradiado.
- Peso de 100 frutos maduros (gramos), determinó o estimó en función del peso y número de frutos totales obtenidos en todas las cosechas por cada planta evaluada.
- Peso de café cerezo (gramos), se evaluó el peso de fruto maduro por cada cosecha y por planta. Al final se determinó el peso total por planta. Solo se cosecharon frutos que alcanzaron la madurez fisiológica y sin daños.
- Frutos anómalos (%), se determinó el número de frutos vanos o con defectos como semillas deformadas y/o con una o tres semillas.

3.4.5. Susceptibilidad a estreses bióticos

- Incidencia de roya (%), se determinó en cada evaluación según la metodología de Samayoa y Sánchez (2000), habiéndose determinado la alta correlación entre incidencia y severidad para este patosistema y en la localidad en estudio (Julca *et al.*, 2019). Se contó el número de hojas que presentaron la sintomatología y/o signo de la enfermedad en una rama de cada tercio y se dividió entre el número de hojas por rama, determinándose la incidencia en cada tercio (superior, medio e inferior) a lo largo de cuatro evaluaciones y la incidencia por cada planta en cada una y en el total de las evaluaciones.
- Incidencia de cercospora (%), se siguió la misma metodología que para la variable anterior.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Supervivencia en campo

La determinación del número de plantas sobrevivientes luego de 3 años del trasplante y al inicio de la evaluación indicó que las plantas no irradiadas o control presentaron 38.37 % de supervivencia, a diferencia de las irradiadas, con un valor de tan solo 20.59 %, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1: Supervivencia (%) de plantas irradiadas y no irradiadas en campo a los 3 años del trasplante

	Irradiadas (100 Gy)	No irradiadas
Trasplantadas (1/2018)	816	834
Reportadas (6/2019)	305	389
Sobrevivientes (2/2021)	168	320
% de supervivencia	20.59	38.37

No existen reportes relacionados a la inducción de mutaciones en condiciones de campo como las del presente estudio para la generación M1 de café; sin embargo, estos valores de supervivencia en campo para plantas irradiadas y control fueron mucho menores que los reportados por Quintana *et al.* (2019), quienes, para el mismo material en estudio en condiciones de vivero, indicó 90 y 99% de supervivencia en plantas irradiadas a 100 Gy y control a 0 Gy, respectivamente, indicando además que en condiciones con menor control ambiental obtuvo menor supervivencia.

Adicionalmente, Spinoso-Castillo *et al.* (2021), reportaron para similares condiciones una disminución de la supervivencia en tres variedades de café (Geisha, Oro Azteca y Marsellesa), siendo entre 10% y 15% en las expuestas a 100 Gy, pero del 60% al 70% en los respectivos controles. Por otro lado, Avendaño-Arrazate *et al.* (2021), indicaron no encontrar mortandad de plantas de café de la variedad Oro Azteca irradiadas con rayos gama a dosis de 100 Gy (^{60}Co) a los 90 dds.

La diferencia de los valores obtenidos en el presente estudio estaría explicada debido al efecto específico de la radiación, la variedad, condiciones ambientales y del tiempo al que las plantas estuvieron expuestas a estas últimas.

Por su parte, Julca y Borjas (2020) reportaron para los mismos campo y plantas en estudio, valores de sobrevivencia para años anteriores, específicamente a los 17 meses luego del trasplante en campo, e indicaron una notable reducción de la supervivencia, tanto en plantas irradiadas como plantas control, siendo mucho más bajos los números de plantas sobrevivientes a los 36 meses (Tabla 1), momento en que se realizó la evaluación. Esto aportaría indicios de que el tiempo frente a las condiciones ambientales afectaron esta variable, siendo esto importante para evaluaciones posteriores por la condición de cultivo perenne del café.

La mayor diferencia entre los valores de sobrevivencia entre las plantas control e irradiadas, se explicaría por el incremento que pudo haber tenido el ambiente sobre el efecto de la radiación, pues diferentes factores influyeron en esta variable, como la caída de ramas de árboles que otorgaban sombra y estando estos en mayor número y teniendo mayor efecto en la zona de siembra de las plantas irradiadas; asimismo, la ubicación de puntos de siembra de las plantas pudo haber afectado la supervivencia de estas, dentro de las que algunas presentaron el crecimiento radicular limitado debido a la presencia de rocas o raíces de árboles alrededor e incluso debajo de estas.

En relación con esto último, en algunas plantas que se mostraron con apariencia moribunda, muy pequeñas, sin ramas ni hojas, las que se consideraron como plantas no sobrevivientes, se logró observar presencia de nódulos en sus raíces, presumiéndose la presencia de algún nemátodo, lo que podría estar relacionado a los árboles circundantes, en su mayoría *Inga sp.*, hospederos de *Meloidogyne*, fitoparásito del cultivo en estudio (Figura 3). Asimismo, el crecimiento sin control de malezas, tal como fue encontrado antes de acondicionar el campo al punto de hacer imperceptibles a las plantas de café, pudo haber sido un factor que contribuyó a la muerte o reducción de la supervivencia de las plantas, especialmente irradiadas, además de poder estar asociados a nemátodos capaces de parasitar a las plantas de café (Julca *et al.*, 2010; Alvarado, 2018).



Figura 3: Presencia de nódulos como posible infección por nemátodos en plantas no sobrevivientes de cafés irradiados

Adicionalmente, se observaron plantas con ramas quebradas debido a la fuerza ejercida por el viento. Todo esto pudo haber colaborado en la reducción del número de plantas sobrevivientes en campo, agravado de daños por insectos, intensificando el efecto de las condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento y/o desarrollo de las plantas de café, siendo más susceptibles las irradiadas, tanto por efecto debilitador de la radiación por sí misma y por la ubicación de siembra.

4.2. Características morfológicas cualitativas

4.2.1. Forma de estípula

Hubo predominancia de la forma oval de las estípulas con presencia en el 67% de las plantas irradiadas (100 Gy), seguido de las formas triangular y deltoide, con 16.5% cada una; no obstante, en las plantas control (0 Gy) solo se observó la forma oval (Figura 4). Estudios de caracterización de germoplasma realizados en la misma localidad de este estudio (Blas *et al.*, 2011; Julca *et al.* 2019) indicaron, para todas las accesiones correspondientes a la variedad Típica, las formas de estípula deltada o triángulo equilátero y ovalada, mientras que los resultados obtenidos en esta característica coincidieron con lo reportado por Quintana *et al.* (2019) en el estudio realizado en vivero, tanto en plantas control y la predominancia en plantas irradiadas.

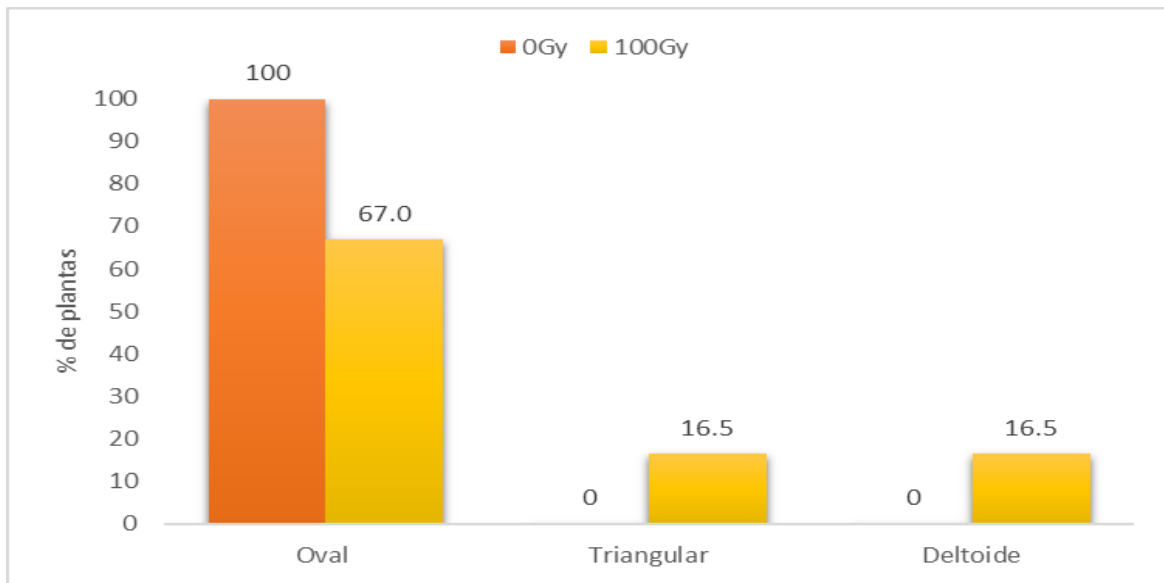


Figura 4: Forma de las estípulas en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.2.2. Forma de hojas

Se apreció diferencias en la forma de hoja con respecto al control en el 32% de las plantas irradiadas (100 Gy), siendo el 6.1% de forma ovobada, 0.9% ovada, 4.3% elíptica y 8.7% lanceolada, mientras que el 12% fueron deformes y el 67.8% restante se clasificó y presentó iguales características que las plantas control (Figuras 5, 10, 11 y 12). Quintana *et al.* (2019) indicaron, para este mismo material irradiado, pero en condiciones de vivero, el 41% de plantas con hojas distintas al control, siendo el 18% de forma ovada y el 23% clasificadas como deformes, siendo de similar tendencia a los resultados obtenidos.

Por otro lado, la totalidad de las plantas control (0 Gy) fueron clasificadas como de “otra” forma de hoja, refiriendo variaciones en la base y ápice de un patrón elíptico, mientras que Quintana *et al.* (2019) indicaron la forma de hoja lanceolada en el 100% de estas. No obstante, la caracterización del germoplasma del café peruano indicó que todas las accesiones correspondientes a la variedad Típica presentaron las formas de hoja elíptica y lanceolada (Blas *et al.*, 2011; Julca *et al.*, 2019). Esto último concordaría con los resultados para las plantas control en este estudio.

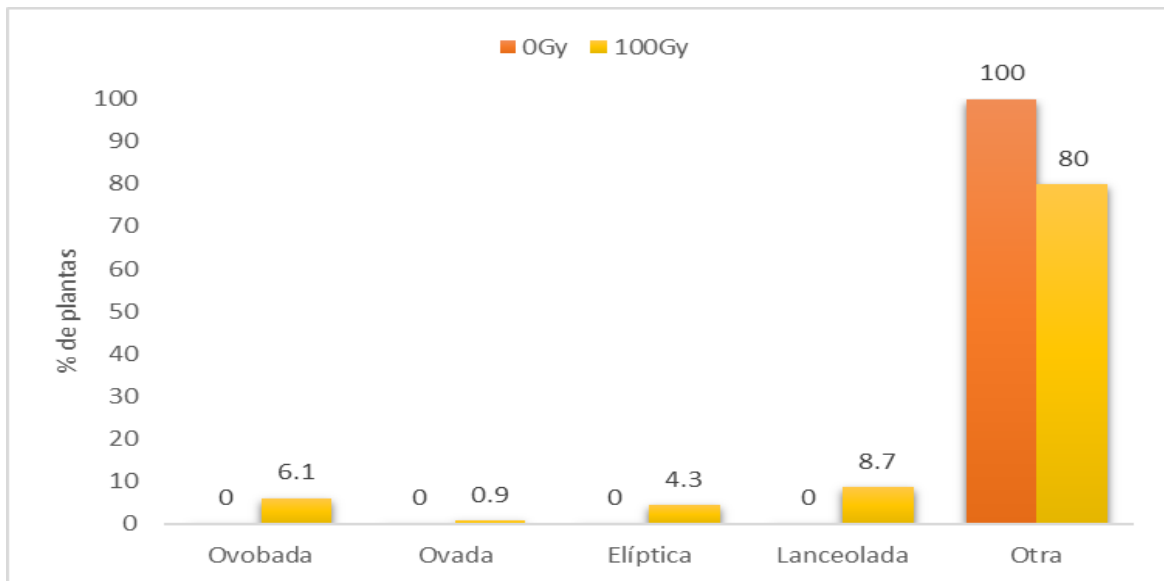


Figura 5: Forma de las hojas en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Las modificaciones en la forma de las hojas en las plantas irradiadas podrían deberse al efecto de la radiación, apreciándose dentro de estas, además de las mencionadas, las formas: angustifolia (hojas alargadas y estrechas), bipartita, con dos ápices, etc. (Figuras 10, 11 y 12). Dichas características coinciden con lo reportado por Quintana *et al.* (2019) y lo indicado para efectos de rayos X sobre semillas de *C. arabica* en la morfología de las hojas de la generación M1 como posible aneuploidía inducida por la radiación (Mendes, 1955; Moh y Orbegozo, 1960; Moh, 1961; citados por Quintana *et al.*, 2019).

Por su parte, López-Gamboa (2018) indicó deformación de hojas en hasta el 3% de plantas M1 de *C. arabica* var. Catuaí inducidas con azida de sodio y evaluadas en condiciones de campo semi controladas, resaltando hojas de forma más alargada que lo normal, de menor tamaño, hojas corrugadas, angustifolias, entre otros, coincidiendo con lo encontrado en el presente estudio. Adicionalmente, Bobadilla *et al.* (2013), estudiaron variaciones fenotípicas en plantas desarrolladas de cultivo *in vitro* y relacionaron la mayoría de las diferencias de forma y tamaño de hojas con aneuploidías.

4.2.3. Forma del ápice

El 27.8% de las plantas M1 irradiadas a 100 Gy mostraron diferencias con respecto al control (0 Gy), siendo el 0.9% agudas, 12.2% apiculadas y el 14.8% clasificadas como “otra”, dentro de las últimas se logró apreciar las formas: con dos ápices, emarginado, obtuso, redondeado, asimétrico (Figuras 6, 10, 11 y 12). Las plantas control presentaron la

forma de ápice puntiaguda en todas las observaciones y el 72.2% de las plantas irradiadas coincidieron en esta característica.

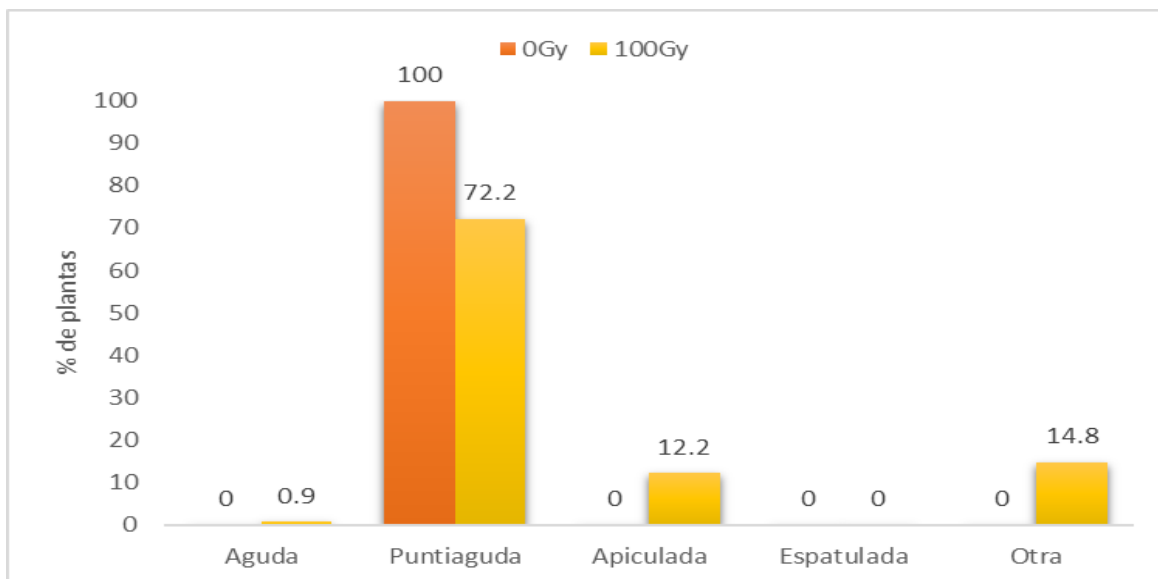


Figura 6: Forma del ápice en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Quintana *et al.* (2019) indicaron y mostró variaciones en condiciones de vivero para las plantas irradiadas, coincidiendo con la tendencia del presente estudio, y de igual forma con el control. Por su parte, Julca *et al.* (2019), indicaron para accesiones de la variedad Típica y en la misma localidad, las formas de ápice apiculada y puntiaguda.

4.2.4. Color de la hoja joven

La predominancia del color de hoja joven o brote en plantas M1 de café (100 Gy) fue del color bronce (87%), con presencia de verdusca, verde, marrón rojizo y otra, en el 1.7, 4.3, 3.5 y 3.5%, respectivamente. La totalidad de plantas control (0 Gy) presentaron color bronce para color de hoja joven (Figuras 7 y 8).



Figura 7: Variaciones del color de hoja joven en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

Por su parte, Quintana *et al.* (2019) reportaron el color verde en la totalidad de plantas irradiadas y control; no obstante, estudios de caracterización de germoplasma indicaron el color bronce oscuro o marrón oscuro y verde para todas las accesiones de la variedad Típica (Blas *et al.*, 2010; Julca *et al.* 2019). Adicionalmente, López-Gamboa (2018) indicó encontrar diferencias en el color del brote joven (de verde a bronce) en solo el 0.3% de la población M1 de café de la variedad Catuaí inducidos con azida de sodio.

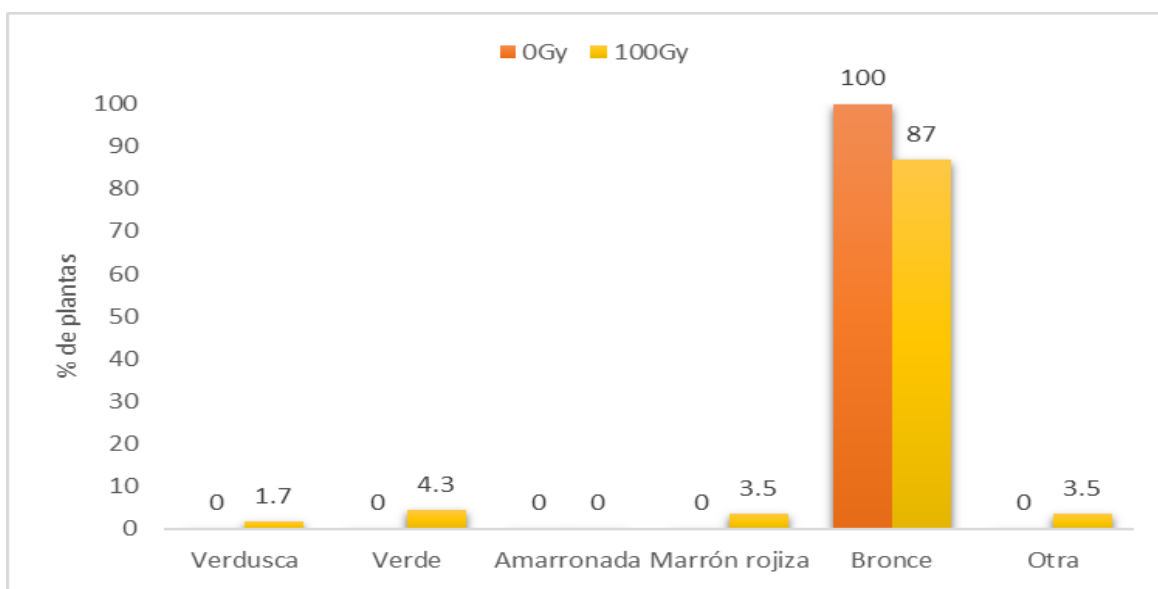


Figura 8: Color de hoja joven en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.2.5. Color de la hoja madura

El color de hoja madura presentó diferencias con respecto al control en un 7.8% de plantas, siendo este porcentaje de color verdusca, mientras que el 92.2% restante y la totalidad del control (100%) presentaron color verde (Figuras 9, 10, 11 y 12).

Quintana *et al.* (2019) mostraron resultados de hojas de color verde y variaciones de tonalidad para este material en estudio bajo condiciones de vivero; no obstante, Julca *et al.* (2019) reportaron para hojas maduras de accesiones de la variedad Típica y en la misma localidad en estudio, los colores verde y verdusco. Por su parte, López-Gamboa (2018) indicó, para condiciones de campo, cambios de tonalidad relacionado con la cantidad de clorofila en plantas M1 de café de la variedad Catuaí inducidos con azida de sodio con variaciones en el tiempo, indicando posibles causas el efecto de la radiación, así como de crecimiento, nutricionales, etc.

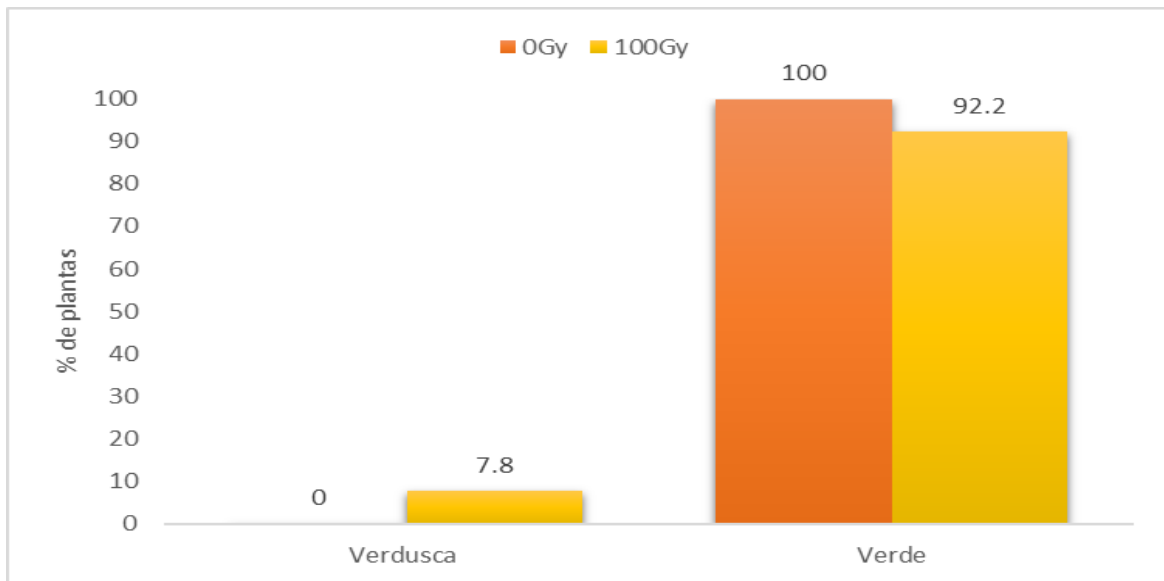


Figura 9: Color de hoja madura en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Las hojas la variedad Típica de *C. arabica* se han indicado, cuando son jóvenes, de color bronceado, pasando a tener color verde oscuro a su madurez, forma elíptica con ligeras ondulaciones y levemente coriácea; asimismo, el color de hoja joven ha sido indicado para la especie como verde, bronce claro u oscuro, siendo característica monogénica con dominancia incompleta (gen *Br*) y con posibles colores verde (*brbr*), bronce oscuro (*BrBR*) y variación de bronce (*Brbr*) (Guimarães *et al.*, 2008; Guerreiro *et al.*, 2008;). El efecto de la radiación pudo haber sido responsable de las variaciones de cambio de color de brote joven, teniendo en cuenta que la luminosidad pudo haber influenciado en la percepción de las tonalidades que estas presentaron.

Por otro lado, Carvalho *et al.* (1954) (citados por Quintana *et al.*, 2019), indicaron inexistencia de la inestabilidad somática para los genes responsables de color de hoja. Sin embargo, los cloroplastos son extremadamente sensibles a efectos de la radiación gamma, en comparación con otros organelos, viéndose afectados a nivel de la membrana tilacoidal y afectando el proceso fotosintético. Asimismo, las características de este órgano están influenciadas por factores ambientales y el estado fitosanitario y nutricional de la planta, viéndose afectada la tonalidad del color verde debido a alteraciones en la composición u espesura de la cutícula de la cutina. Esto podría afectar la intensidad del color verde la lámina foliar y explicar las variaciones observadas (Wintgens, 2004; Wi *et al.*, 2007; do Livramento, 2010).



Figura 10: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (1).



Figura 11: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (2).



Figura 12: Variaciones de las características relacionadas a la hoja en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo, a tres años del trasplante (3).

4.2.6. Presencia de rama secundaria

La totalidad de plantas control presentaron ramas secundarias o plagiotrópicas de segundo orden, mientras solo el 14.78% de las plantas M1 de café (100 Gy) presentaron esta característica (Figura 13).

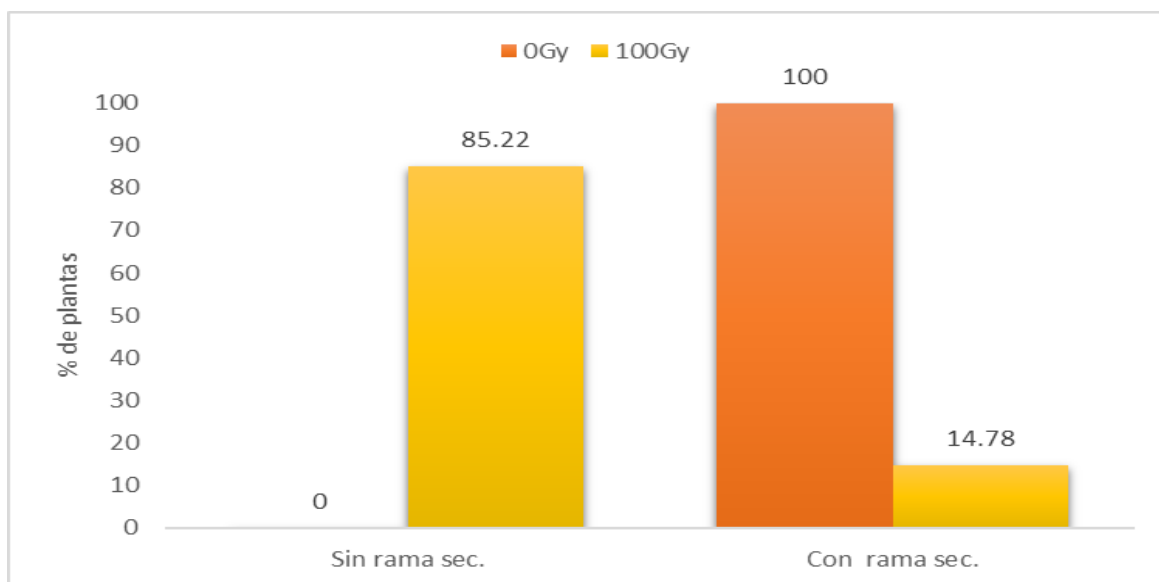


Figura 13: Presencia de rama secundaria en plantas control (0 Gy) y en plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

La intensidad de la ramificación de primer y segundo orden ha sido una característica de interés en el mejoramiento del café, al estar correlacionada de manera positiva con el potencial productivo y contrariamente con el porte de la planta; asimismo, los ramos de segundo orden pueden surgir a partir de yemas seriadas o de yemas cabeza de serie. La intensidad de la ramificación es influenciada por las características genéticas, fisiológicas y ambientales (Donizeti, 2008; Guerreiro *et al.*, 2008; do Livramento, 2010).

4.3. Características morfológicas cuantitativas

4.3.1. Altura de planta

La altura de las plantas es un importante indicador de los daños biológicos por efecto de la radiación. Hubo diferencias y gran variabilidad entre las plantas M1 (100 Gy) y el control (0 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones, tanto para las alturas mínimas, promedio y máximas (Figura 14). De forma general, las plantas M1 tuvieron menor tamaño, presentando en la cuarta evaluación, una altura promedio 144.5 cm frente a 283.9 cm de las

plantas control; asimismo, la altura de las plantas irradiadas varió desde los 74 hasta 270.3 cm, mientras que las plantas control presentaron alturas entre 246.1 y 353 cm.

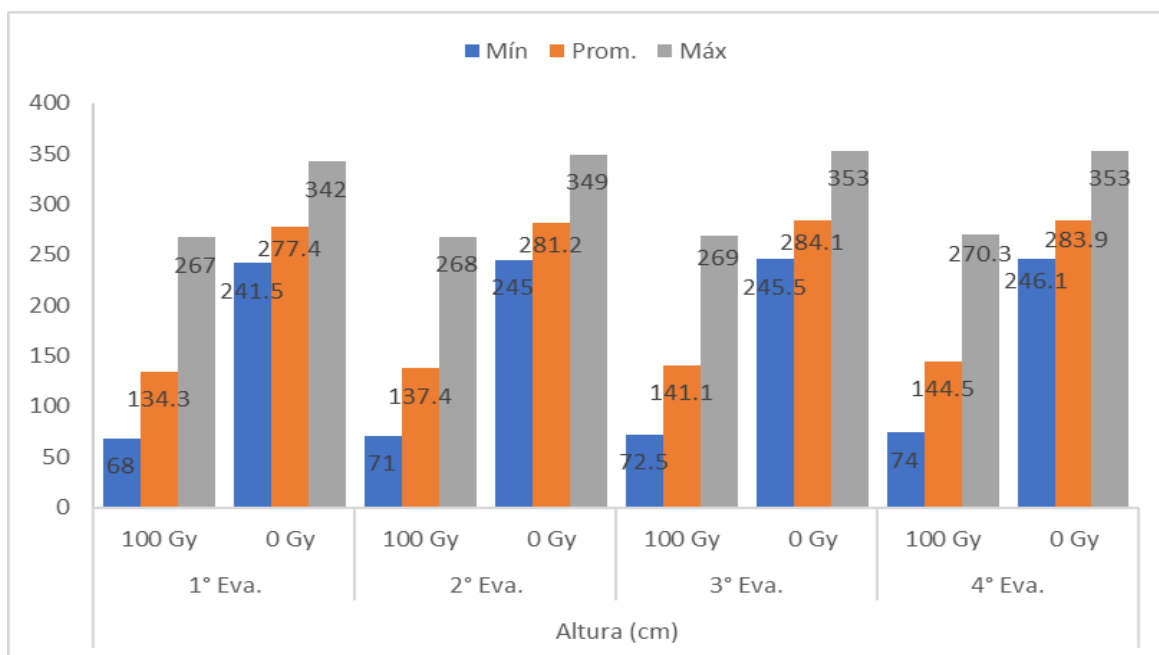


Figura 14: Valores mínimo, promedio y máximo de la altura en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

Del análisis del histograma de frecuencias para las alturas de las plantas M1 y control, se observó que las plantas irradiadas mostraron asimetría positiva para esta característica, además de una gran variabilidad entre plantas (Figura 15). Por su lado, las plantas no irradiadas (0 Gy) presentaron una tendencia más cercana a la normalidad y con menor variación entre ellas. El coeficiente de variación de la altura de las plantas no irradiadas (0 Gy) fue de 10.9% a 11.3%, en todas las evaluaciones, indicando su pertinencia para comparar.

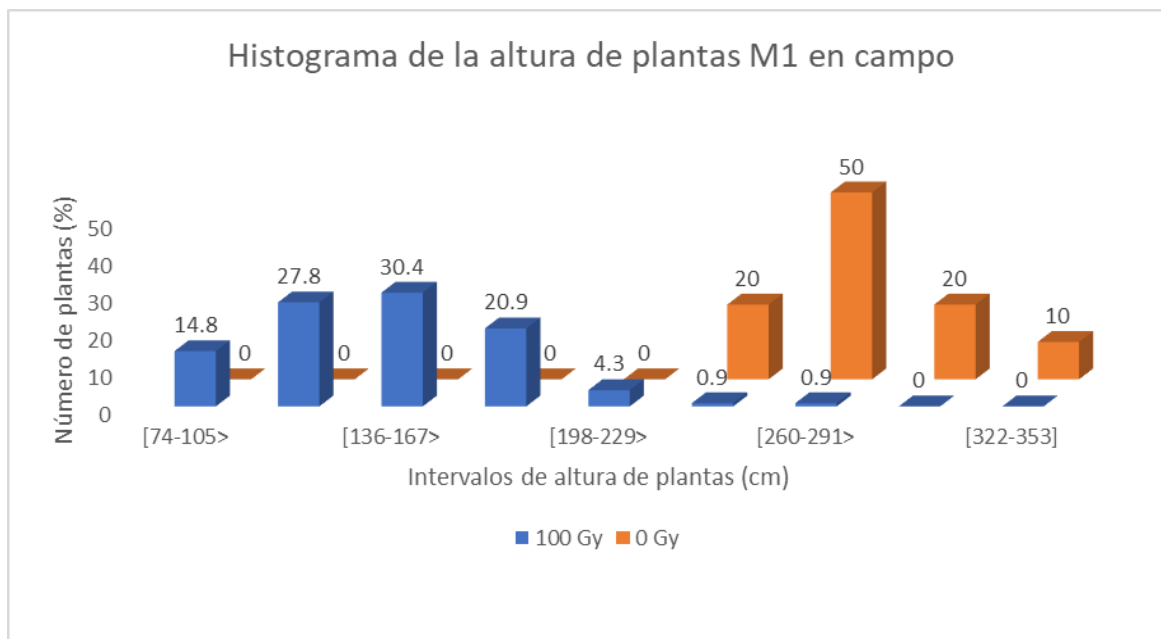


Figura 15: Histograma de frecuencias (%) de la altura de plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

La variedad Típica puede alcanzar altura entre 365 y 458 cm en libre crecimiento, esto estaría cercano al rango de altura para las plantas control y superando ampliamente al promedio de la altura de las plantas M1 (Blas *et al.*, 2011).

Los resultados presentados coinciden con otros estudios de inducción de mutaciones en café. Quintana *et al.* (2019) indicaron para las plantas en estudio, pero en condiciones de vivero, una disminución notable de la altura en plantas irradiadas (100 Gy) frente al control (0 Gy), efecto posiblemente representado en las condiciones actuales. Por su parte, Vargas-Segura *et al.* (2019), estudiaron los efectos de la radiación (EMS y azida de sodio) en café de la variedad Catuaí en condiciones de campo semi controladas, indicando una reducción significativa en la altura de las plantas tratadas, obteniendo similar distribución asimétrica positiva para esta característica, no obstante, con menores diferencias promedio (reducción del 25.88% frente a 49.1% en altura promedio para este estudio) que las obtenidas en el presente estudio, lo que podría deberse a efectos propios de la radiación, cultivar y efectos ambientales. Adicionalmente, Avendaño-Arrazate *et al.* (2021) encontraron reducción del 28.32 % de la altura para plantas de café (*C. arabica* var. Oro Azteca) sometida a radiación ionizante gamma por ^{60}Co (100 Gy) con respecto al control en condiciones de campo semi controladas. Adicionalmente, López-Gamboa (2018) indicó reducción de la altura de

plantas de café de la variedad Catuaí inducidas con azida de sodio en condiciones de campo semi controladas, con respecto a plantas control.

Por otro lado, Ahumada-Flores *et al.* (2021) indicaron reducción del tamaño de plantas M1 de trigo en condiciones de campo; asimismo, Gómez-Pando y Eguiluz (2013), encontraron una tendencia similar en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), ambos con empleo de radiación gamma. En este sentido, Ali *et al.* (2014) y Arisha *et al.* (2015), coincidieron con el efecto de la radiación en esta característica por la aplicación de azida de sodio y EMS, sobre lenteja (*Lens culinaris*) y pimiento (*Capsicum annum*), respectivamente.

La radiación puede causar daños directos en la región meristemática, siendo una posible causa para las diferencias de altura entre plantas irradiadas y no irradiadas; además, el efecto puede ser sobre la estructura y/o posición de un determinado gen, existiendo la posibilidad de afectar genes relacionados con la altura de la variedad Típica, no obstante, no siendo indicativo concluyente por la posibilidad formación de quimeras debido a la característica multicelular del tejido expuesto a la radiación. Adicionalmente, se ha indicado que la radiación gamma afecta el crecimiento de las plantas debido a su posible efecto sobre la síntesis de giberelinas, pudiendo actuar en algunos de los puntos de la vía metabólica, afectando además el papel en otras funciones biológicas como alargamiento de entrenudos, germinación de semillas, inducción de floración, desarrollo del polen y tubo polínico, desarrollo de frutos, entre otros (Guimaraes *et al.* 2008; Arisha *et al.*, 2014; Taiz *et al.*, 2017; Vargas-Segura *et al.*,2019).

Estos resultados podrían sugerir que la radiación es responsable de las diferencias en cuanto a la altura; sin embargo, según Guerreiro *et al.* (2008), esta característica se ve influenciada por factores ambientales y el estatus fitosanitario del cultivo, pues plantas de la misma variedad pueden tener diferentes alturas cuando son cultivadas en condiciones diferentes, siendo recomendada la discriminación de estas, solo bajo condiciones homogéneas y minimización del efecto ambiental. Asimismo, la variabilidad dentro de la población de plantas M1 sugiere que el efecto del daño y/o potencial mutación de la radiación, puede haberse incrementado por otros factores, como fue expuesto para la sobrevivencia de las plantas.

4.3.2. Diámetro de tallo

El diámetro del tallo puede ser empleado como posible indicador de potencial productivo y vigor de la planta (Wintgens, 2004; Silva *et al.*, 2015, citados por Julca *et al.*, 2018). Se presentaron diferencias en cuanto al diámetro de tallo entre plantas M1 y las no irradiadas (Figura 16). Las medidas obtenidas en este parámetro aumentaron con el tiempo, probablemente influenciadas por las lluvias. El diámetro de tallo promedio fue mucho menor en plantas M1 (100 Gy) con 18.15 mm, frente a 32.89 mm en las plantas control. La variación dentro de la población de plantas M1 fue mucho mayor que en el control, notándose para la cuarta evaluación, valores entre 9 mm y 35 mm, frente a un rango entre 29.5 mm y 38.1 mm en el control, respectivamente.

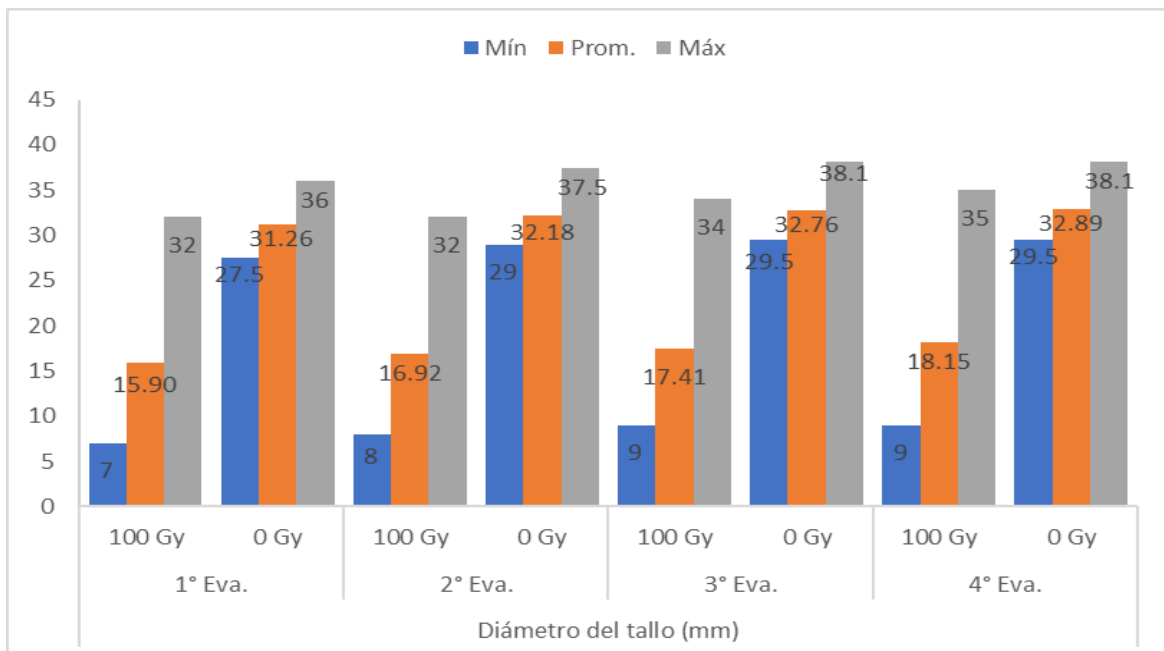


Figura 16: Valores mínimo, promedio y máximo del diámetro del tallo en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

Esta variación se pudo apreciar en el análisis de histograma de frecuencias correspondiente a este parámetro, como se aprecia en la Figura 17, donde se presentó una mayor amplitud con tendencia asimétrica positiva en las plantas irradiadas. Asimismo, se determinó un coeficiente de variación máximo del 8.8% en todas las evaluaciones para las plantas control, indicándose adecuado para referencia.

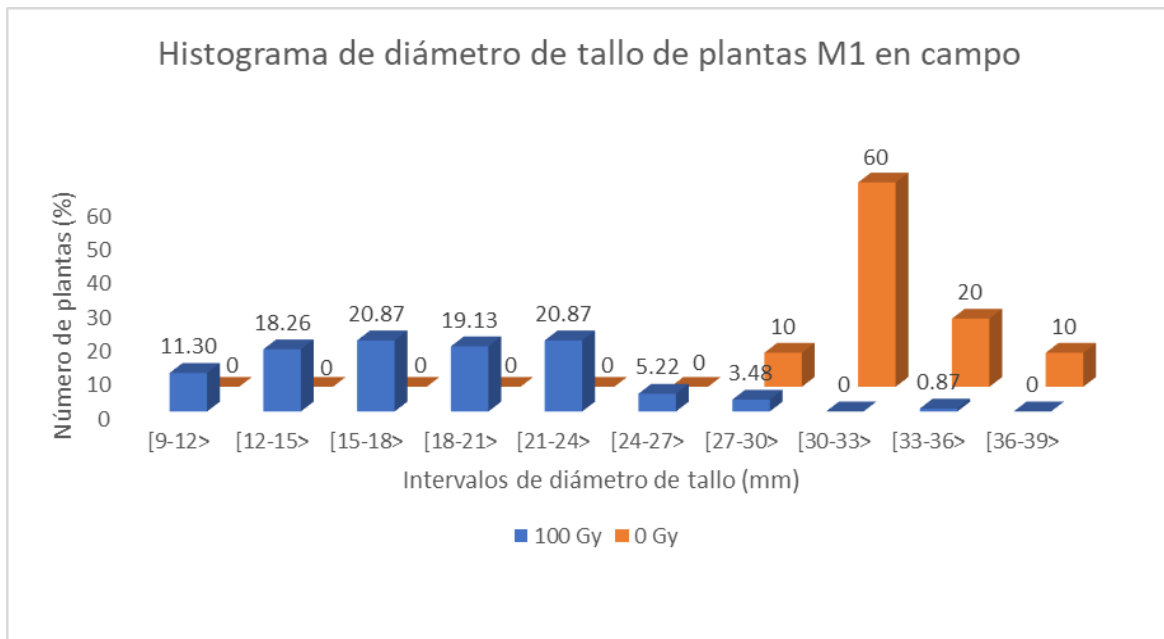


Figura 17: Histograma de frecuencias (%) del diámetro de tallo de plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

Los resultados obtenidos mostraron similar tendencia con lo indicado por Quintana *et al.* (2019), quienes obtuvieron menores valores de diámetro de tallo para plántulas irradiadas (100 Gy) en comparación con el control (0 Gy) y en el mismo material en estudio, pero bajo condiciones de vivero. Por su parte, Spinoso-Castillo *et al.* (2021) reportaron menores valores para esta característica en plantas de tres variedades de *C. arabica* (Geisha, Marsellesa y Oro Azteca) irradiadas con 100 Gy con respecto al control.

El crecimiento en diámetro de la planta es debido al tejido meristemático del cámbium, cuya actividad es regulada por diversos factores, tales como balance hormonal para el crecimiento secundario, siendo mencionados la síntesis y movimiento basal de auxinas, la acción de giberelinas conjunto y sinérgicamente con las auxinas, así como el transporte de los precursores de las formas biosintéticas de esta hormona; asimismo, las citoquininas, al haberse demostrado que plantas transgénicas de álamo con déficit en la acumulación de esa hormona en la zona del cámbium reducen significativamente su crecimiento diametral y división del tejido cambial. Adicionalmente, el etileno ha sido relacionado como regulador del crecimiento radial y formación de tejido leñoso (Taiz *et al.*, 2017; Borjas y Julca, 2020). Diversos factores, incluyendo los producidos por la radiación pudieron haber limitado el proceso de crecimiento secundario y por lo tanto diámetro del tallo.

4.3.3. Índice de Esbeltez (IE)

El Índice de Esbeltez (IE) se relaciona inversamente con el vigor, conducción hídrica, relación resistencia/capacidad fotosintética, entre otros, siendo los valores entre 5 y 10 los más adecuados, mientras que los superiores a 10 considerados menos favorables (Torral, 1997). Los valores promedio y mínimo del IE fueron menores en las plantas irradiadas (M1) durante todas las evaluaciones, mientras que los valores máximos fueron más altos en estas. Las variaciones en el tiempo pudieron deberse al efecto del mayor aporte de agua por lluvias sobre el diámetro del tallo y consecuente crecimiento vertical y/o daños en los ápices por viento, quebraduras, insectos, etc. (Figura 18).

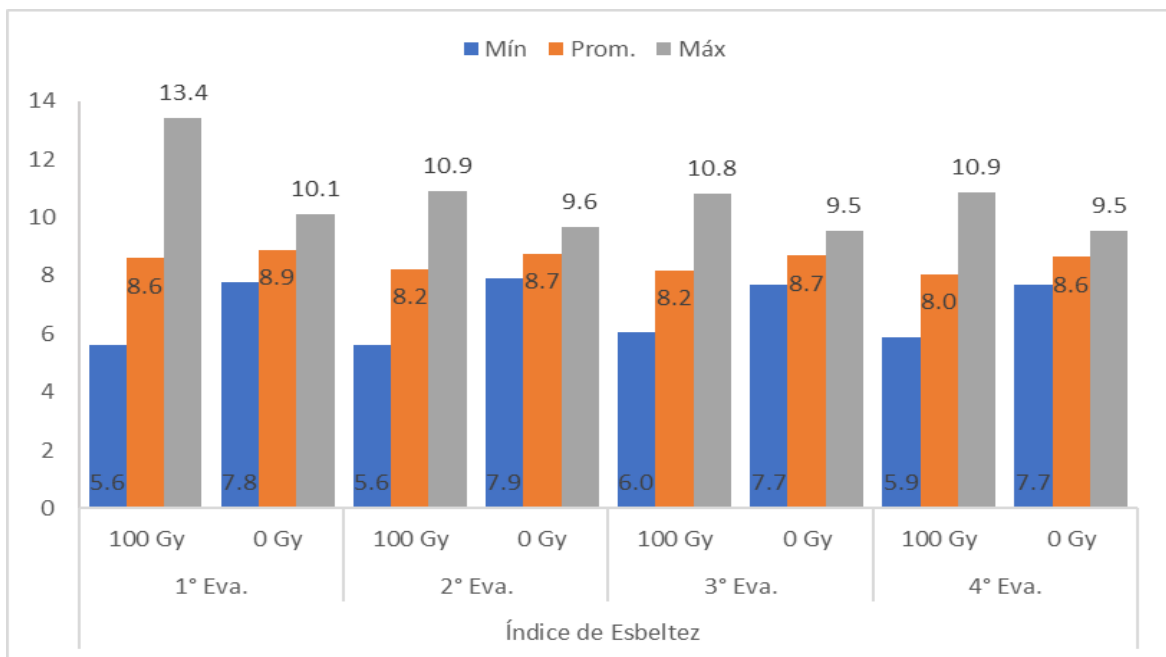


Figura 18: Valores mínimo, promedio y máximo del Índice de Esbeltez (IE) en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

El análisis de histograma de frecuencias indicó una mayor variabilidad y tendencia a la normalidad en las plantas M1, mientras que las plantas control mostraron una distribución bimodal y menor variación entre ellas. Se obtuvo el coeficiente de variabilidad para esta característica en las plantas control para todas las evaluaciones, siendo entre 7.36 y 9.1%; además este valor fue de 11.7 a 14% en las plantas irradiadas, siendo, entre todas las características de las plantas M1, uno de los tres casos donde se obtuvo valores similares (Figura 19).

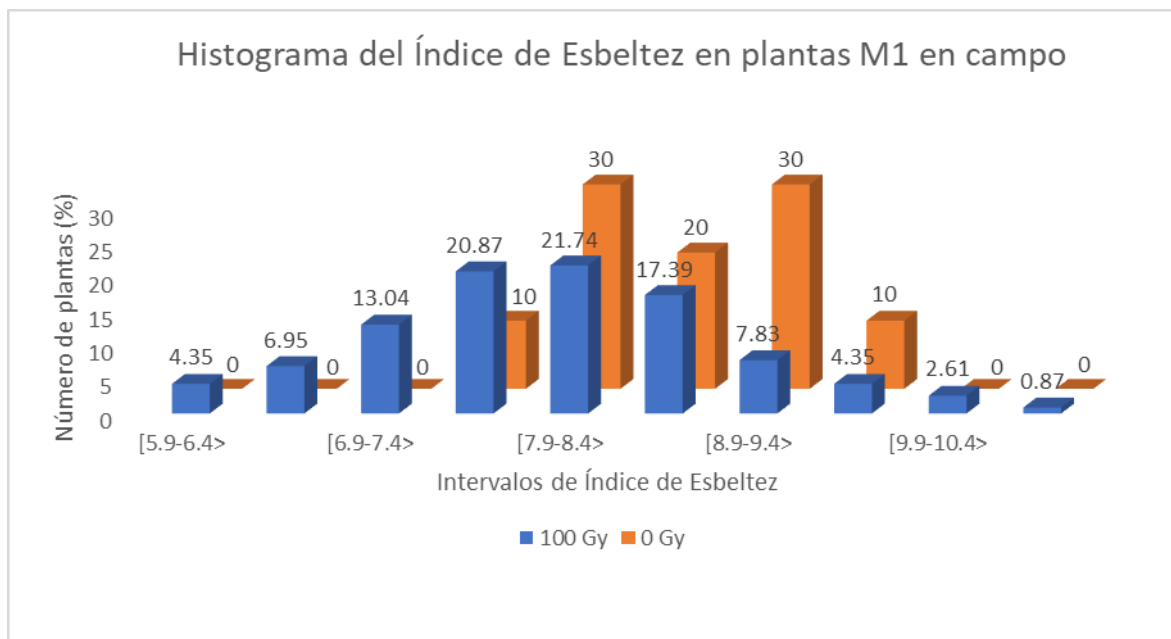


Figura 19: Histograma de frecuencias (%) del Índice de Esbeltez (IE) en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

4.3.4. Número de ramas por planta

El número de ramas por planta es una característica que influye en el rendimiento pues sobre estas se encuentran las yemas que darán origen a las flores y futuros frutos (Wintgens, 2004). Hubo diferencias en el número de ramas por planta, siendo de forma general menor para las plantas M1 (100 Gy). En la Figura 20 se aprecia que en promedio y para la cuarta evaluación, las plantas irradiadas (100 Gy) presentaron 18.7 ramas por planta frente a 38 ramas por planta en el control (0 Gy). Valores mínimos fueron de 4 ramas por planta frente a 30, en plantas irradiadas y no irradiadas, respectivamente. Por otro lado, la diferencia en los valores máximos de ramas por planta fue menos notoria, presentándose el mayor valor en plantas irradiadas con 49 ramas por planta, frente a 47 del control. Variaciones en el número de ramas por plantas se dieron por nuevo surgimiento de ramas plagiotrópicas y desecación y caída de ramas.

El análisis de histograma de frecuencias indicó una mayor variabilidad entre las plantas M1, con una distribución asimétrica positiva, con mayor frecuencia de individuos con 9 a 19 ramas por planta. Por su parte, las plantas control presentaron mayor cantidad de plantas con 29 a 34 ramas por planta y menor variabilidad entre ellas (Figura 21).

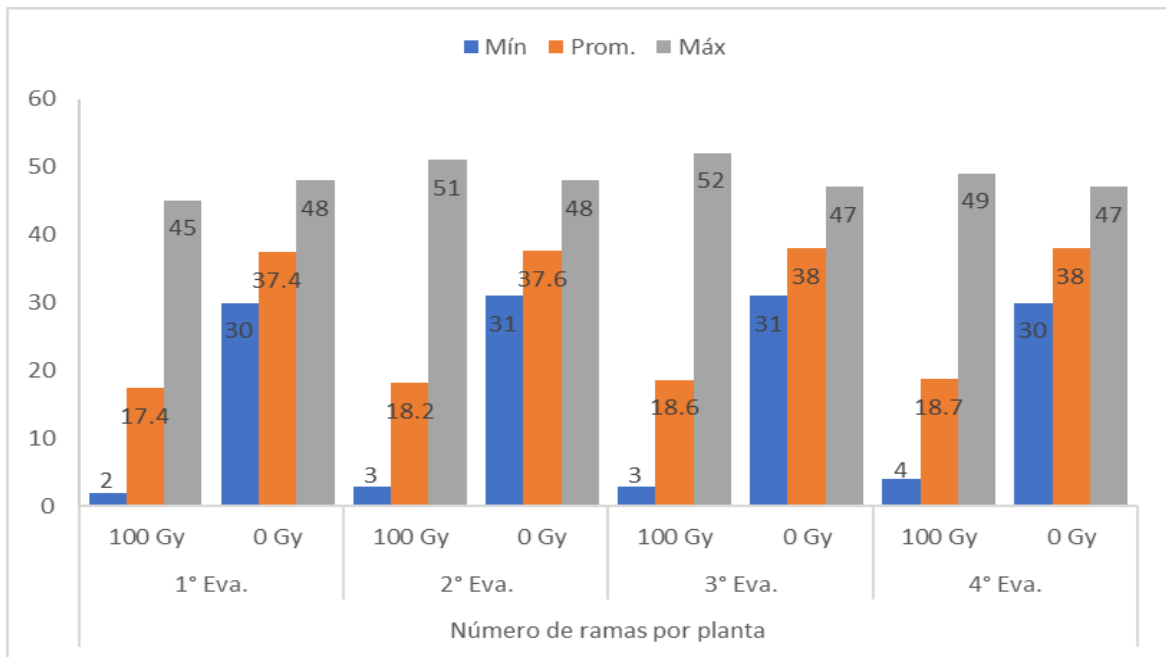


Figura 20: Valores mínimo, promedio y máximo del número de ramas por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

El coeficiente de variación para la variable número de ramas por planta en los individuos no irradiados fue de 15.4 a 17% en las cuatro evaluaciones, indicándose como adecuado para las condiciones de campo y su uso como patrón comparativo.

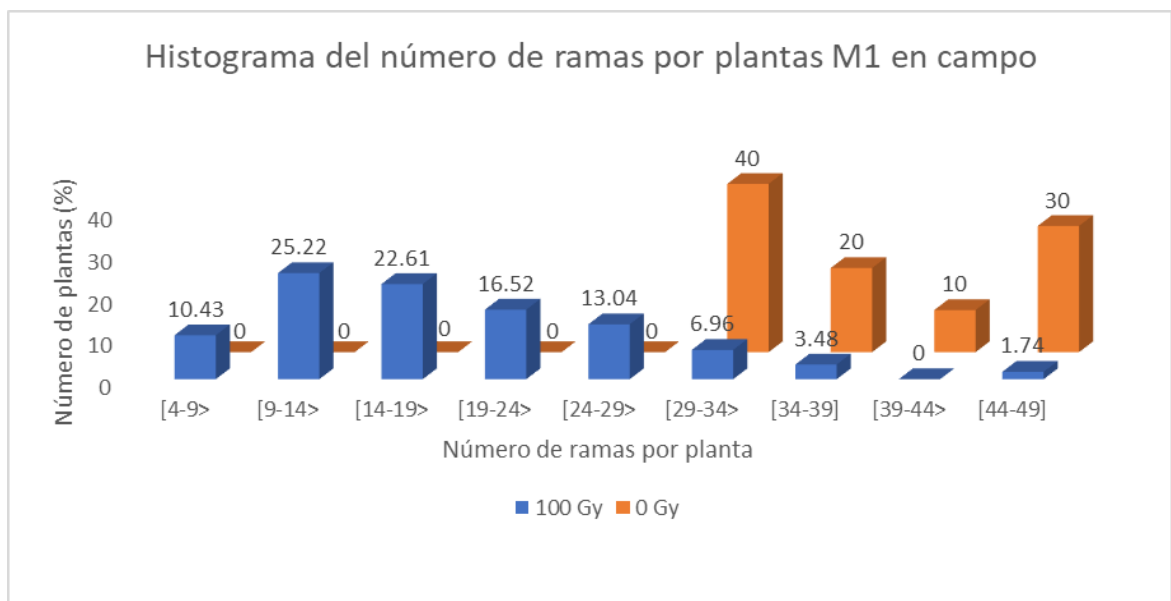


Figura 21: Histograma de frecuencias (%) del número de ramas por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

La tendencia de los resultados obtenidos coincide con lo reportado por Vargas-Segura *et al.* (2019), quienes indicaron la reducción significativa del número de ramas por planta en *C. arabica* L. var. Catuaí inducidas con EMS en condiciones de campo semi controladas; asimismo, mencionaron presencia de plantas con 4 y menos ramas y reportaron una distribución de frecuencias similar a la mostrada. Por su parte, Avendaño-Arrazate *et al.* (2021), reportaron resultados similares y en semejantes condiciones, con una notable reducción del número de ramas por plantas en cafés de la variedad Oro Azteca inducidos con 100 Gy de rayos gamma (^{60}Co).

Por otro lado, Julca *et al.* 2019, a partir de la caracterización del germoplasma peruano realizados en la misma localidad en estudio, encontraron para accesiones diferentes pero indicadas de la variedad Típica, gran diferencia en el número de ramas por planta. Ante esto, el coeficiente de variabilidad para esta característica en las plantas control sugieren que esto no afectaría en el mismo sentido, siendo posibles orígenes de las diferencias dentro de la población de plantas irradiadas, así como entre plantas irradiadas y no irradiadas, los efectos de la radiación o del ambiente.

4.3.5. Longitud de rama

Las ramas presentaron diferencias en cuanto a su longitud entre plantas M1 (100 Gy) y plantas control (0 Gy). En promedio, en la cuarta evaluación, plantas irradiadas presentaron menor longitud de ramas frente al control, con 53.2 cm y 96.9 cm, respectivamente (45.1% de reducción). Similar tendencia se dio en los valores mínimos para cada tipo de plantas de café, observándose la longitud máxima de 91 cm en plantas irradiadas, frente a 118.6 cm de la contraparte (23.27% de reducción). Asimismo, para los valores mínimos, la diferencia fue mucho más marcada, con valores de 7.2 cm y 74.2 cm en plantas irradiadas y no irradiadas, respectivamente (90.3% de reducción) (Figura 22).

Hubo variación de la longitud de rama dentro del conjunto de plantas irradiadas, como se logró apreciar en el análisis de histograma de frecuencias correspondiente, con mayor amplitud para estas. Asimismo, las plantas control presentaron un coeficiente de variación entre 12.1 y 14.3% a lo largo de las cuatro evaluaciones, siendo adecuado para usarse como referencia en las condiciones presentes (Figura 23).

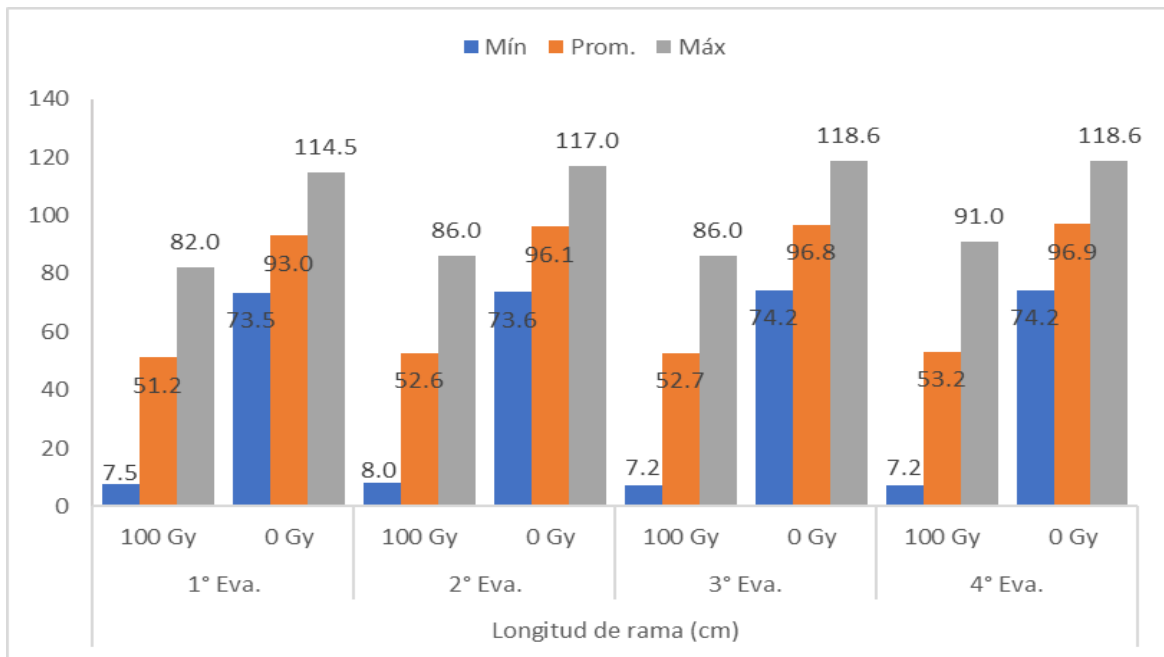


Figura 22: Valores mínimo, promedio y máximo la longitud de rama en plantas no irradiadas (0 Gy) y plantas irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

Los resultados obtenidos tuvieron similar tendencia a los reportados por Borzouei *et al.* (2016) y Ahumada-Flores *et al.* (2021), al evaluar el efecto de la radiación gamma en trigo, indicando que a dosis de 200 Gy el efecto fue significativo.

Las ramas plagiotrópicas primarias pueden formarse a partir de yemas cabeza de serie del tallo principal, mientras que las yemas seriadas dan origen a ramas ortotrópicas o ladronas, siendo ambos tipos de yema ubicados bajo las axilas (Wintgens, 2004; Do Livramento, 2010). En relación con esto, Taiz *et al.* (2017), indican que el desarrollo de las yemas axilares y formación de brotes y ramas laterales está determinado por factores internos de desarrollo y ambientales, con la participación de auxinas, estrigolactonas y citoquininas para la señalización local y a distancia, afectando además su tasa de crecimiento. Las hormonas mencionadas pueden sintetizarse en diferente grado en raíces y brotes, siendo su movilización un aspecto crucial en su acción y son las citoquininas catalogadas como estimuladoras de este evento. Además, ha sido indicado que es importante, y asumido como punto inicial, el transporte y acumulación de sacarosa en las yemas para el desarrollo y formación de ramas laterales.

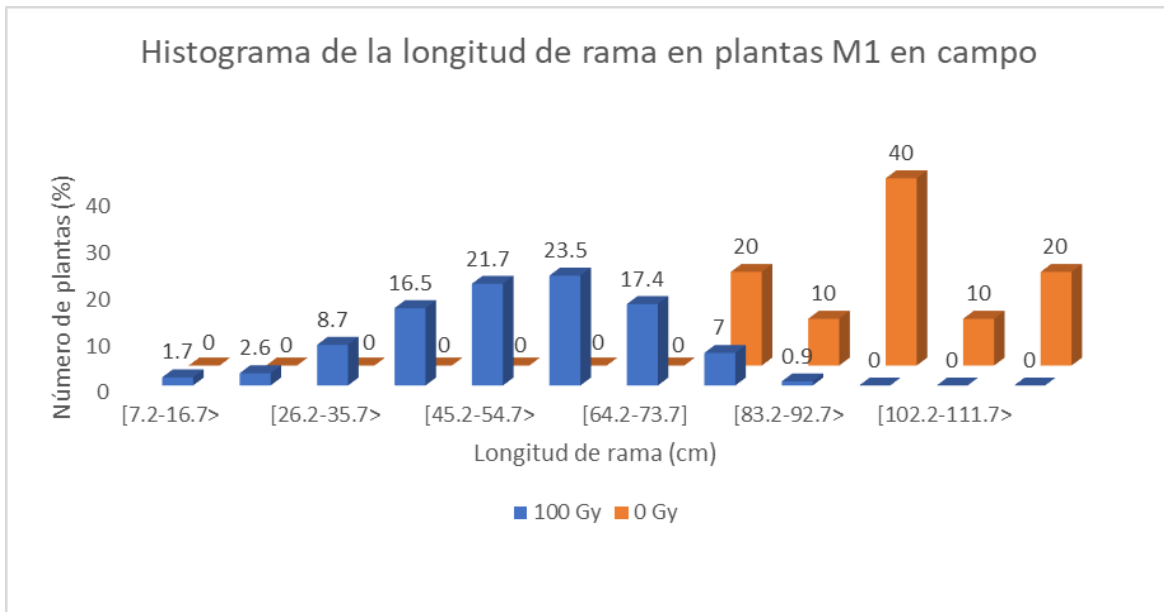


Figura 23: Histograma de frecuencias (%) de la longitud de ramas en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

En el presente estudio se encontró y eliminaron ramas ladronas, en especial en plantas irradiadas y al inicio de la evaluación, lo que podría haber influido, por competencia, en el desarrollo de ramas laterales, así como también por factores externos y el mismo efecto de la radiación.

4.3.6. Número de nudos

En general, las plantas de café M1 presentaron reducción del número de nudos por rama, en comparación con el testigo (Figura 24). Para la cuarta evaluación, el número promedio de nudos fue de 11.24 en plantas M1 frente a 15.20 en las plantas control. Asimismo, los mínimos valores encontrados en el grupo de plantas irradiadas fue de 6 nudos por rama, mientras que las plantas no irradiadas presentaron no menos de 13 nudos. En cuanto al máximo número de nudos por rama, la tendencia fue distinta, con igual número de nudos en ambos grupos.

Lo mencionado anteriormente sugirió una gran variación entre plantas M1, lo que se logró apreciar mejor en el análisis de histograma de frecuencias, el que demostró una gran variabilidad entre plantas irradiadas para la característica de número de nudos, donde la mayoría de plantas presentaron 10 nudos por rama. La variabilidad fue mucho menor en

las plantas control (0 Gy), donde la mayor frecuencia fue para plantas con 15 nudos por rama las cuales presentaron un coeficiente de variación entre 9 y 10% para las cuatro evaluaciones (Figura 25).

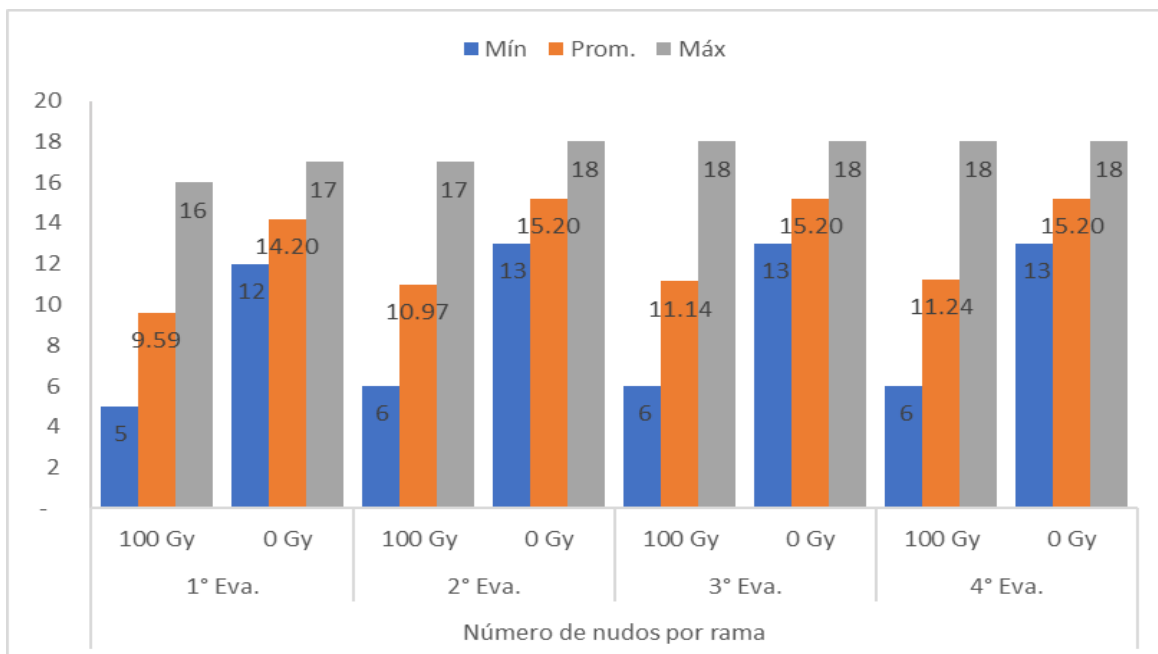


Figura 24: Valores mínimo, promedio y máximo del número de nudos por rama en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

Los resultados obtenidos coinciden con lo indicado por Avendaño-Arrazate *et al.* (2021), a partir del número de hojas por ramas plagiotrópicas, quienes adujeron una reducción significativa en plantas de café del cultivar Oro Azteca inducidas con radiación gamma (100 Gy), de lo que se podría deducir menor número de nudos en estas con respecto al control; asimismo, los datos reportados por Vargas-Segura *et al.* (2019), quienes encontraron una variación numérica, pero sin ser significativa, del número de hojas por rama plagiotrópica en plantas de café de la variedad Catuaí inducidas con azida de sodio y presentando similar distribución.

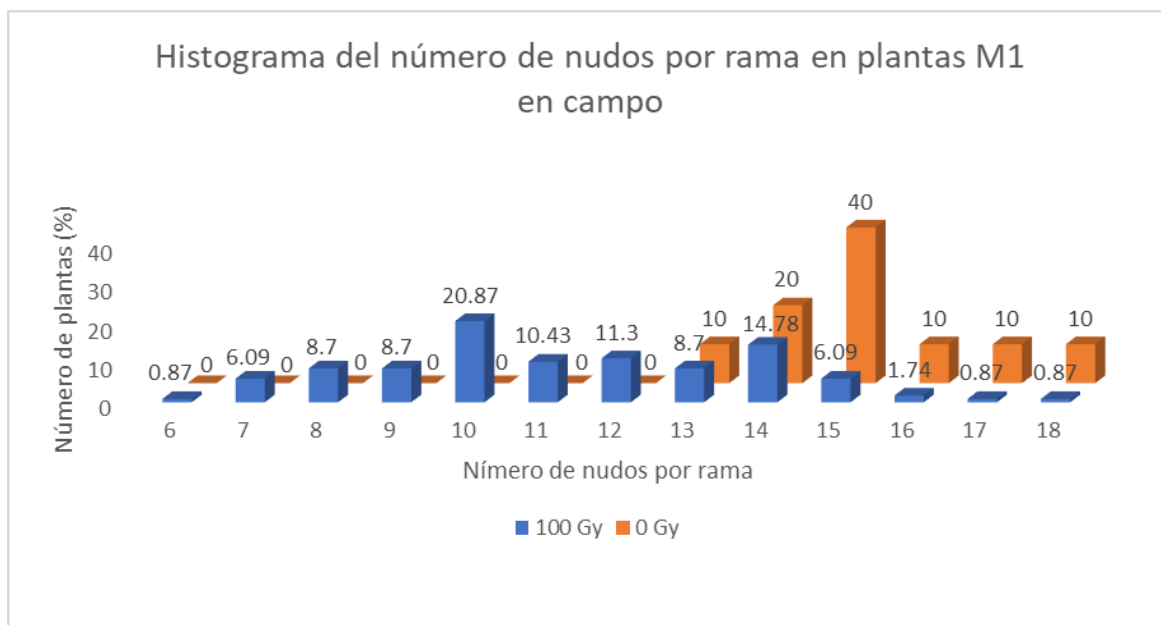


Figura 25: Histograma de frecuencias (%) del número de nudos por rama en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

4.3.7. Longitud de entrenudo

La longitud del entrenudo fue variable entre plantas irradiadas y no irradiadas. Plantas irradiadas presentaron menores valores promedio en esta característica, siendo para la cuarta evaluación, de 6.81 cm frente a 8.62 cm en plantas control (Figura 26). Valores mínimos siguieron similar tendencia, con 3.45 cm frente a 6.6 cm, en plantas irradiadas y control, respectivamente. Para valores máximos se apreció lo contrario, pues los mayores valores se dieron en plantas irradiadas, con 13.4 cm frente a 11.1 de plantas control. Valores similares a las del control pudieron encontrarse en estudios de caracterización de germoplasma del café realizados en la misma localidad en estudio correspondientes a accesiones de la variedad Típica (Blas *et al.*, 2011).

Se presentó gran variabilidad para la longitud de entrenudo entre plantas de café M1, como se aprecia en el histograma de frecuencias, donde el mayor porcentaje de plantas presentó valores de este parámetro entre 5.5 y 6.5 cm. Por su parte, las plantas control presentaron mayor frecuencia de plantas con valores entre 7.5 y 8.5 cm y un coeficiente de variabilidad máximo de 16.7% para las cuatro evaluaciones (Figura 27).

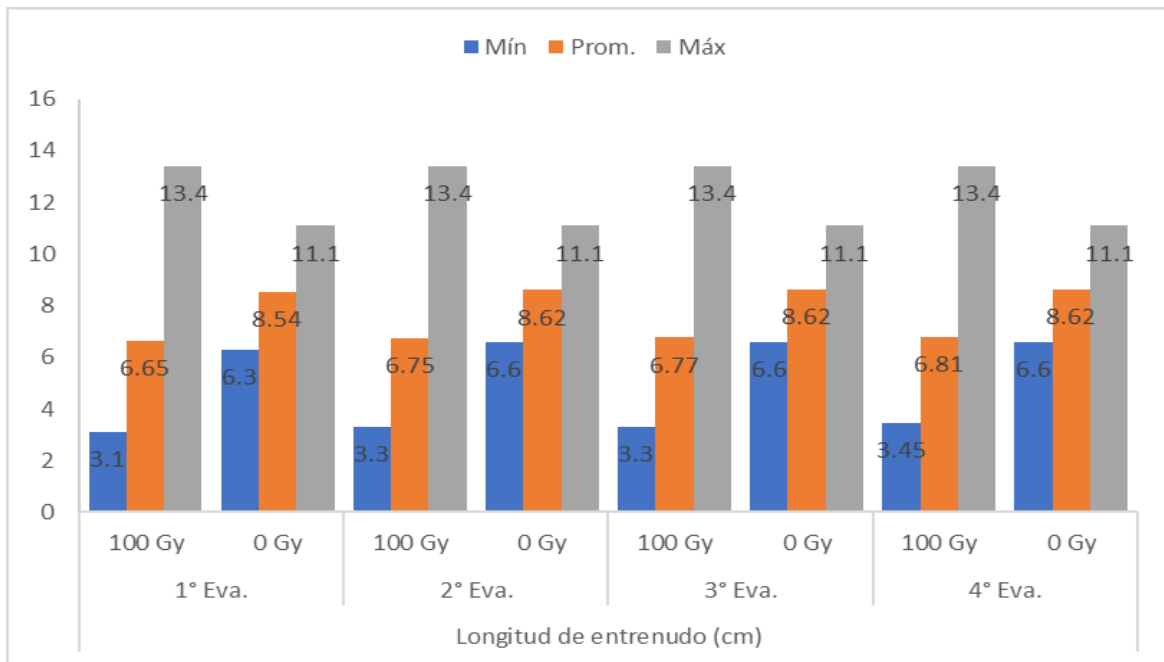


Figura 26: Valores mínimo, promedio y máximo de la longitud de entrenudo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) a lo largo de las cuatro evaluaciones de la generación M1 en condiciones de campo.

La longitud de entrenudos es una característica de interés empleada para la caracterización de los cultivares de café pues está íntimamente relacionada con el porte de la planta; se ha resaltado la presencia del gen dominante que poseen las variedades de porte bajo como Caturra (porte bajo dominado por *CtCt* y porte alto por *ctct*), Villa Sarchi y Pacas; asimismo, genes para similar característica han sido encontrados en San Bernardo (*Sb*), Villa Lobos (*Vl*), San Ramón (*Sr*), entre otros, en los que se aprecia una notable reducción de la longitud de entrenudos de ramas ortotrópicas y plagiotrópicas y aspecto compacto en relación con Típica. Por otro lado, se puede mencionar el mutante de Típica denominado Maragoype (debido al gen con dominancia completa *MgMg* o *Mgmg*), el que presenta la característica contraria de mayor longitud de entrenudos, así como un aumento para las demás características morfológicas (Wintgens, 2004; Guimarães *et al.*, 2008; Medina *et al.*, 2008).

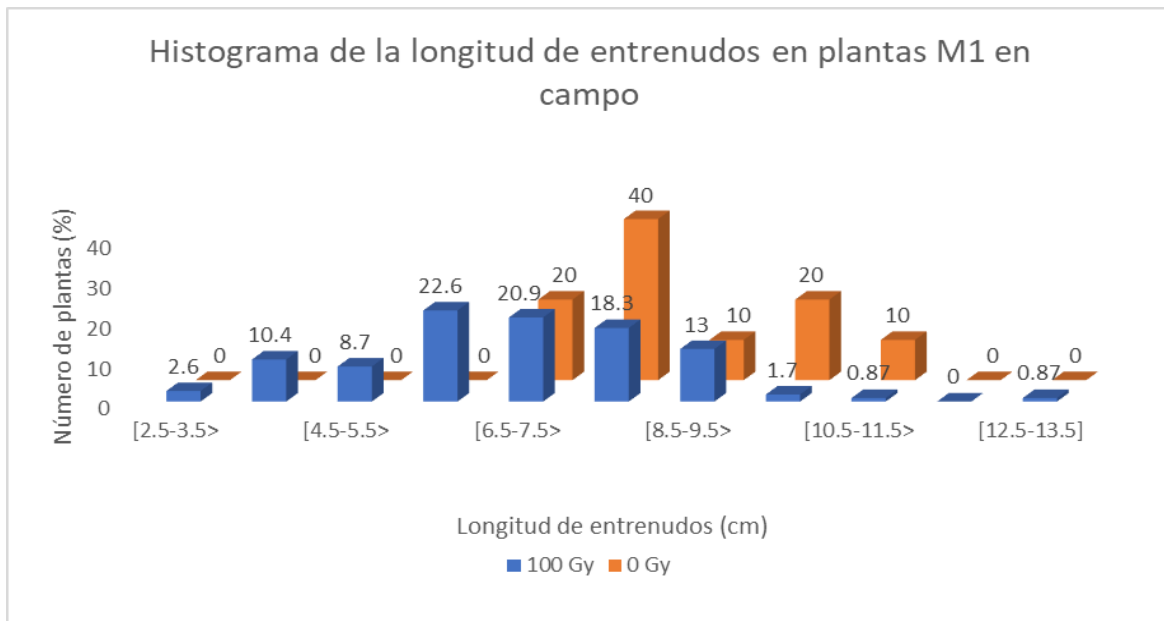


Figura 27: Histograma de frecuencias (%) de la longitud de entrenudo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo para la última evaluación.

4.3.8. Longitud de hoja

El tamaño de las hojas es una característica importante por su relación con la capacidad fotosintética. Las plantas M1 presentaron diferencias en la longitud de hoja con respecto al control, siendo el valor promedio en las primeras de 14 cm frente 19.3 cm en plantas no irradiadas. Dentro de las plantas irradiadas se encontraron hojas desde 8.13 cm hasta 17.7 cm como máximo, mientras que en plantas no irradiadas se tuvo hojas desde 17.4 cm hasta 21.4 cm de longitud (Figura 28). Quintana *et al.* (2019) indicaron, para el mismo material, pero en condiciones de vivero, una reducción de longitud de la hoja de las plantas irradiadas (100 Gy) frente al control, indicando que los mismos resultados fueron obtenidos por Vargas (2016) con el empleo de azida sódica. Por su parte, Julca *et al.* (2019) indicaron similares valores a los obtenidos en este estudio para las plantas control, en las accesiones correspondientes a la variedad Típica en estudios de caracterización de germoplasma realizados en la misma localidad en estudio.

Hubo variación entre plantas irradiadas, como se logró apreciar en el análisis de histograma de frecuencias, donde la mayor parte de plantas presentó longitud de hojas entre 13 y 15 cm, mientras que las plantas control presentaron, en su mayoría, entre 19 y 20 cm (Figura 29).

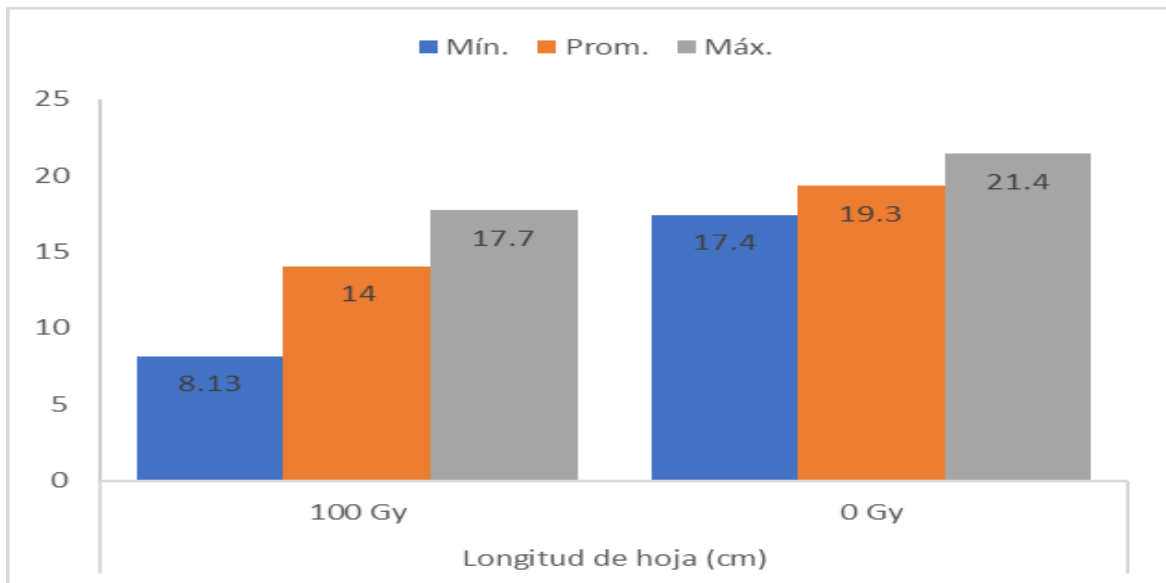


Figura 28: Valores mínimo, promedio y máximo de la longitud de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

El coeficiente de variación para la longitud de la hoja en las plantas control (0 Gy) fue de 5.8%, mientras que este fue de 11.3% en las irradiadas (100 Gy). Este último valor fue menor que en la mayoría de variables para las plantas irradiadas.

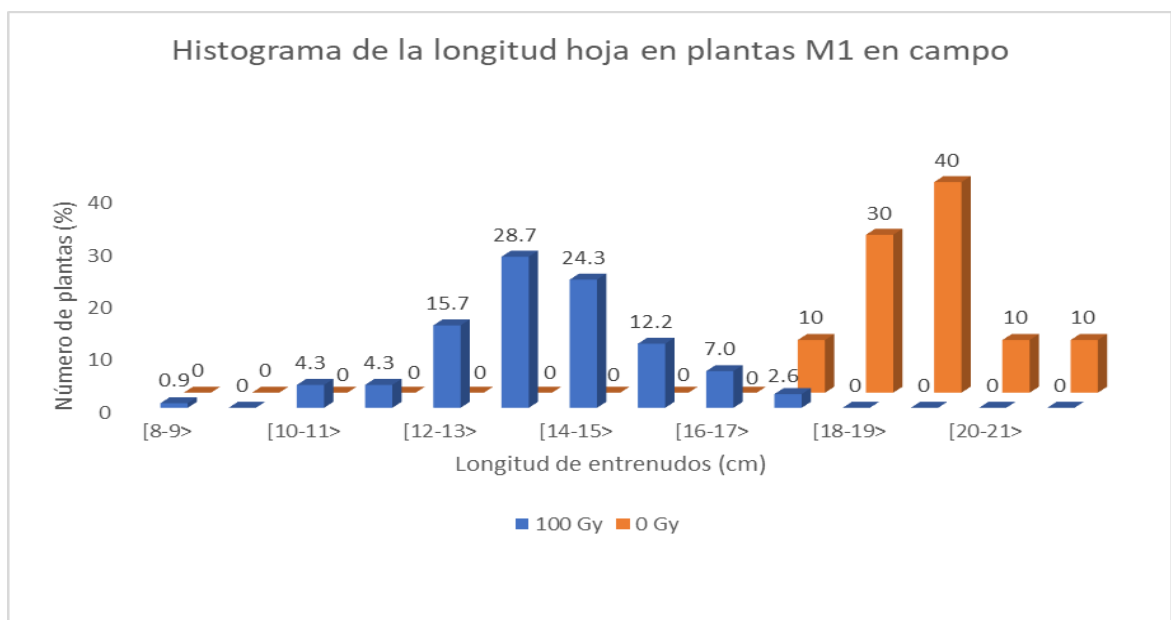


Figura 29: Histograma de frecuencias (%) de la longitud hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.3.9. Ancho de hoja

Valores de ancho de hoja siguieron la misma tendencia que la longitud de este órgano. En promedio, plantas irradiadas presentaron menor ancho de hojas con 5.2 cm frente a 7.2 cm en las plantas control. La diferencia fue más marcada al comparar valores mínimos, siendo de 2.8 cm para las plantas irradiadas, mientras que en las no irradiadas se presentó el mínimo valor de 6.4 cm. No hubo notable diferencia entre valores máximos, siendo de 8 cm y 8.1 cm para las plantas irradiadas y control, respectivamente (Figura 30). Estos resultados siguieron la tendencia de los valores reportados por Quintana *et al.* (2019), quienes encontró una reducción para esta característica en el mismo material irradiado en estudio (100 Gy) bajo condiciones de vivero.

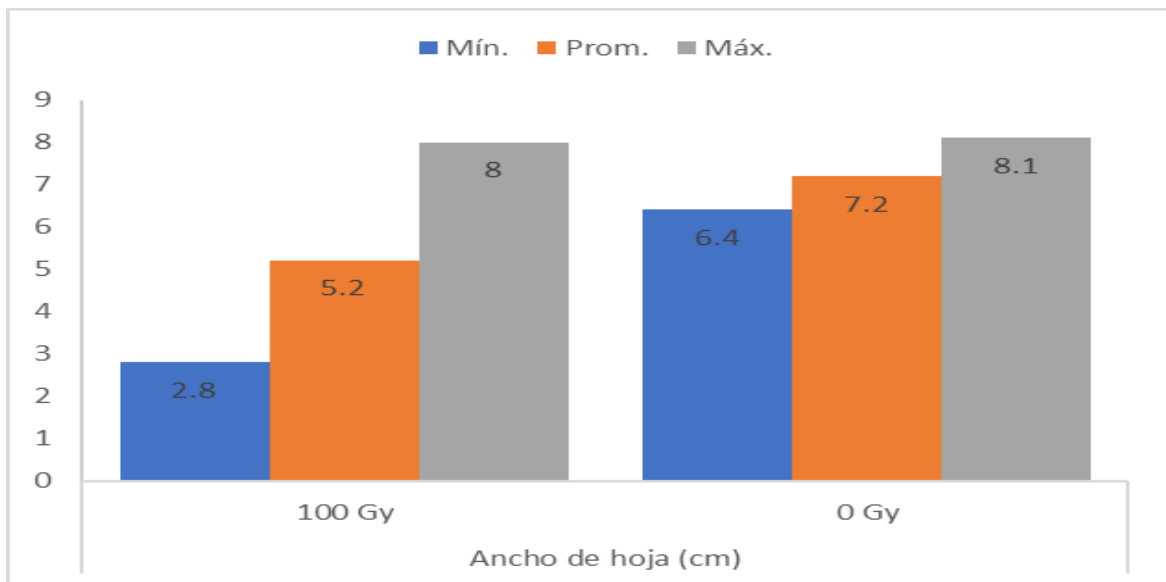


Figura 30: Valores mínimo, promedio y máximo del ancho de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

El análisis de histograma de frecuencias indicó mayor variación del ancho de hoja dentro de la población de plantas M1, dándose mayor presencia de plantas con valores entre 5.2 y 5.8 cm para esta característica, mientras que en las plantas control la mayor frecuencia de ancho de hojas fue entre valores de 7 y 7.6 cm. Valores de coeficiente de variación para el ancho de hoja fueron de 14.1% para las plantas irradiadas frente a un valor de 7.3% en las plantas control, siendo de las características con menor valor de este parámetro de variabilidad en las plantas irradiadas (Figura 31).

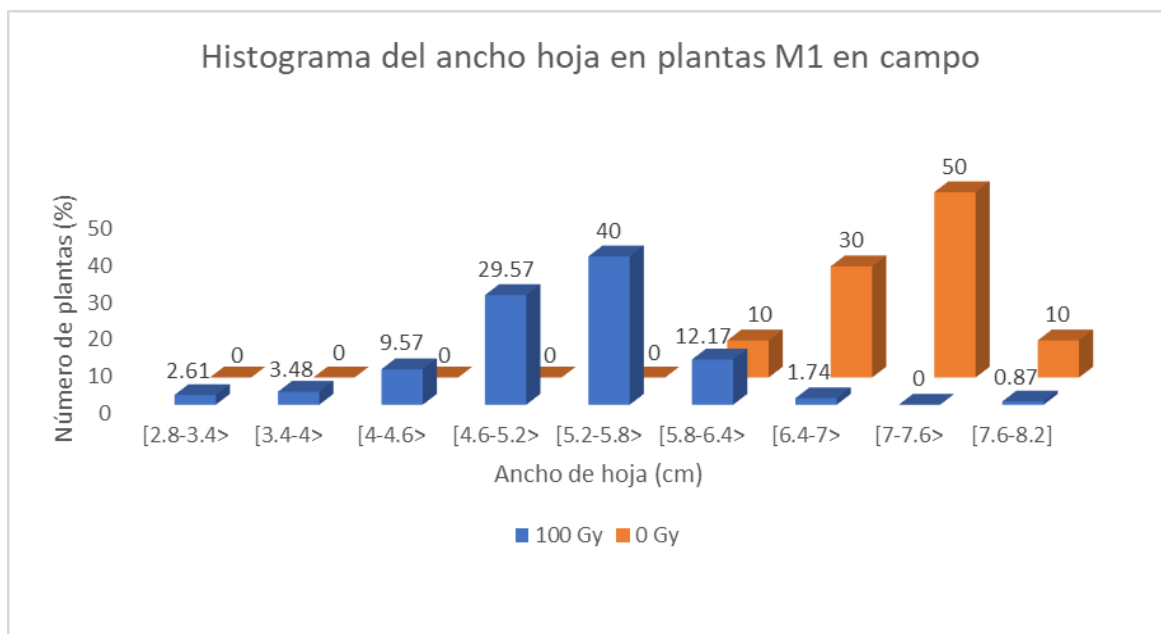


Figura 31: Histograma de frecuencias (%) del ancho de hoja en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Las hojas representan el órgano más importante para las plantas, pues a través de ellas se producen procesos vitales como la fotosíntesis, respiración y transpiración, siendo el tamaño de estas influenciado por condiciones genéticas y ambientales (Guerreiro *et al.*, 2008; Flórez *et al.*; 2018). En relación con el tamaño de las hojas y área foliar, Spinoso-Catillo *et al.* (2021), indicaron la reducción del área foliar en tres variedades de café inducidas con dosis a partir de 200 Gy de rayos gamma y no encontrar efecto significativo en dosis de 100 Gy. Por otro lado, existen reportes en diversas especies vegetales del efecto diferencial de los rayos gamma sobre el largo y ancho de hoja, así como el área foliar (Riviello-Flores *et al.* 2022), lo que coincide con la tendencia encontrada para las características de la hoja en este estudio.

4.4. Características de producción de frutos (posible indicador de esterilidad)

4.4.1. Presencia de frutos

Uno de los efectos más notorios e importantes en plantas inducidas con rayos gamma, y que deben ser evaluados en la generación M1, es el efecto sobre la esterilidad o reproducción. Los frutos surgen a partir de la inducción de la floración de yemas seriadas de ramas plagiotrópicas, la diferenciación floral y antesis, siendo influenciadas por factores de fotoperiodo, agua, temperatura e intrínsecos de la planta (do Livramento *et al.*, 2010; Acquaah, 2012).

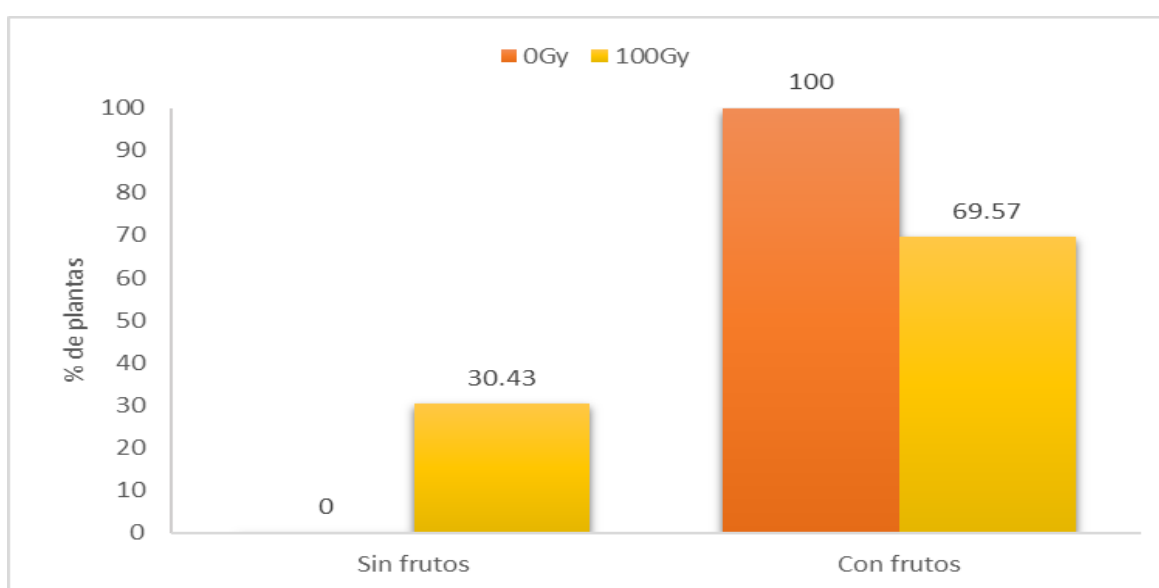


Figura 32: Porcentaje de plantas con presencia de fruto en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

En la Figura 32 se aprecia que todas las plantas control produjeron frutos, mientras que solo el 69.57% de las plantas irradiadas lo hicieron, teniendo el 30.43% nula producción de frutos; sin embargo, no existieron variaciones en cuanto a forma y color de frutos producidos por plantas irradiadas (100 Gy) y plantas control (0 Gy), pero sí algunas diferencias en cuanto al tamaño de frutos, posiblemente debido a las anomalías en las semillas o baja eficiencia de autopolinización debidas a la radiación o efecto directa de esta (Figura 33).

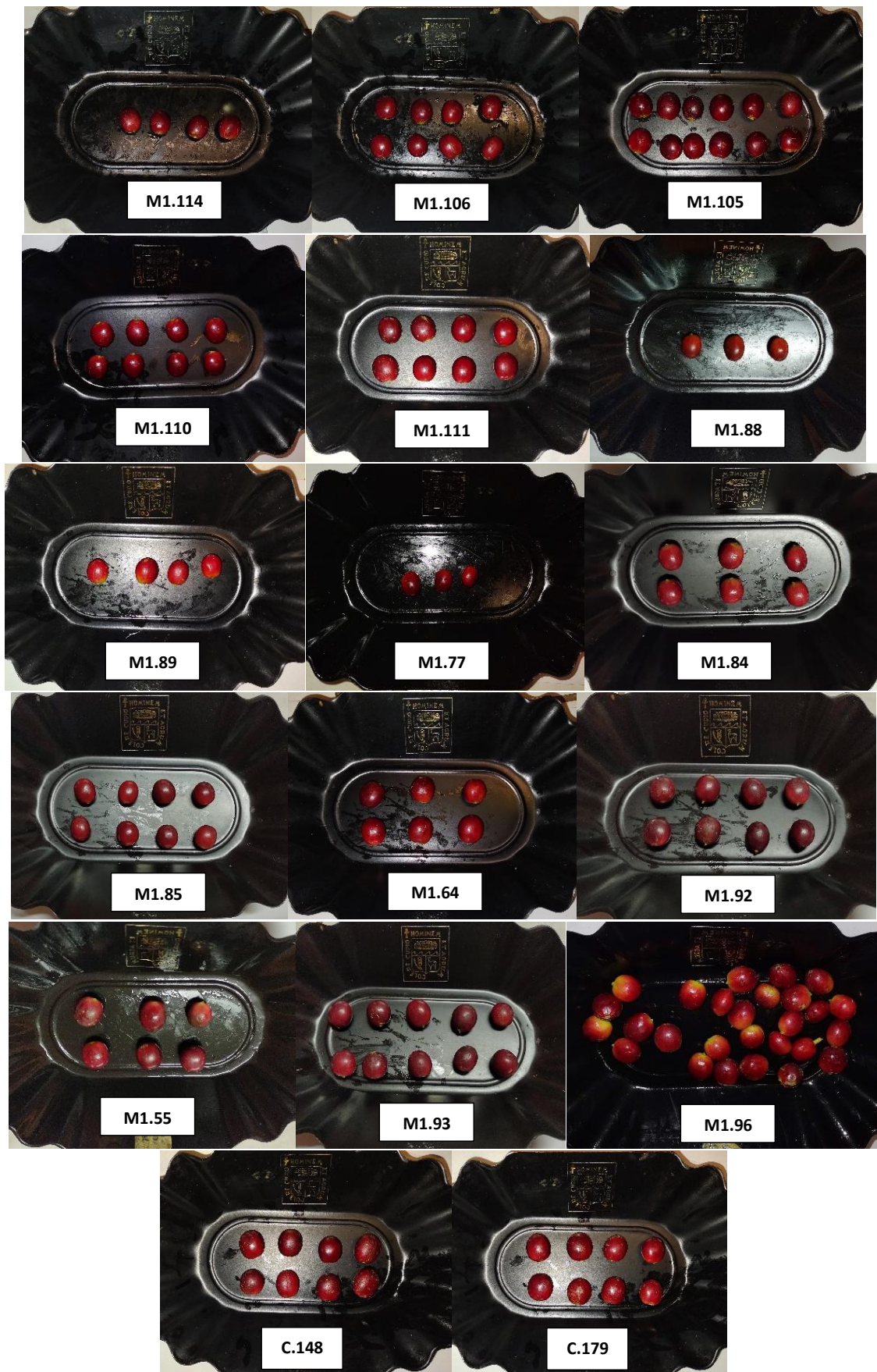


Figura 33: Frutos producidos por plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica y plantas control (0 Gy) en condiciones de campo a tres años del trasplante.

4.4.2. Número de frutos por planta

Hubo gran variación en cuanto al número de frutos por planta, siendo el valor promedio de esta característica mucho menor en plantas M1, con 47.2 frutos por planta, frente a 520.8 en las plantas control. Asimismo, existieron plantas irradiadas que no produjeron frutos (0 frutos por planta), mientras que el menor valor de frutos en individuos no irradiados fue de 385 por planta. La misma tendencia se observó en los máximos valores, en donde las plantas irradiadas presentaron no más de 432 frutos, existiendo al menos una planta con más 1000 frutos en las del grupo control (Figura 34).

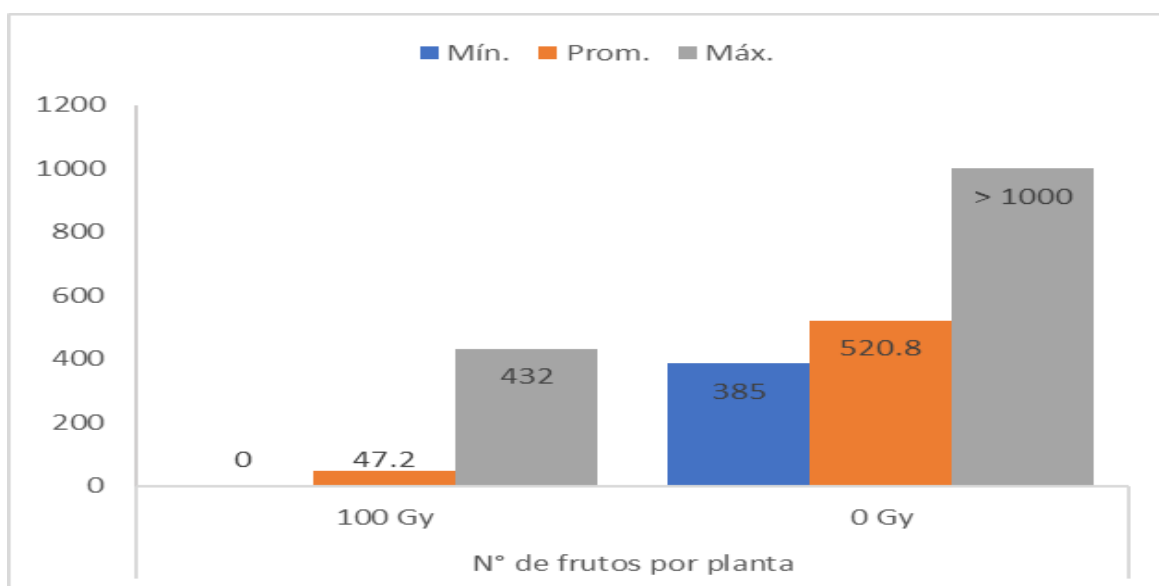


Figura 34: Valores mínimo, promedio y máximo del número de frutos en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

El análisis de histograma de frecuencias indicó que más del 60% de plantas irradiadas presentaron menos de 40 frutos, mientras que el 50% de plantas control presentaron entre 480 y 520 frutos. La variación para esta característica fue muy alta para ambos grupos (Figura 35).

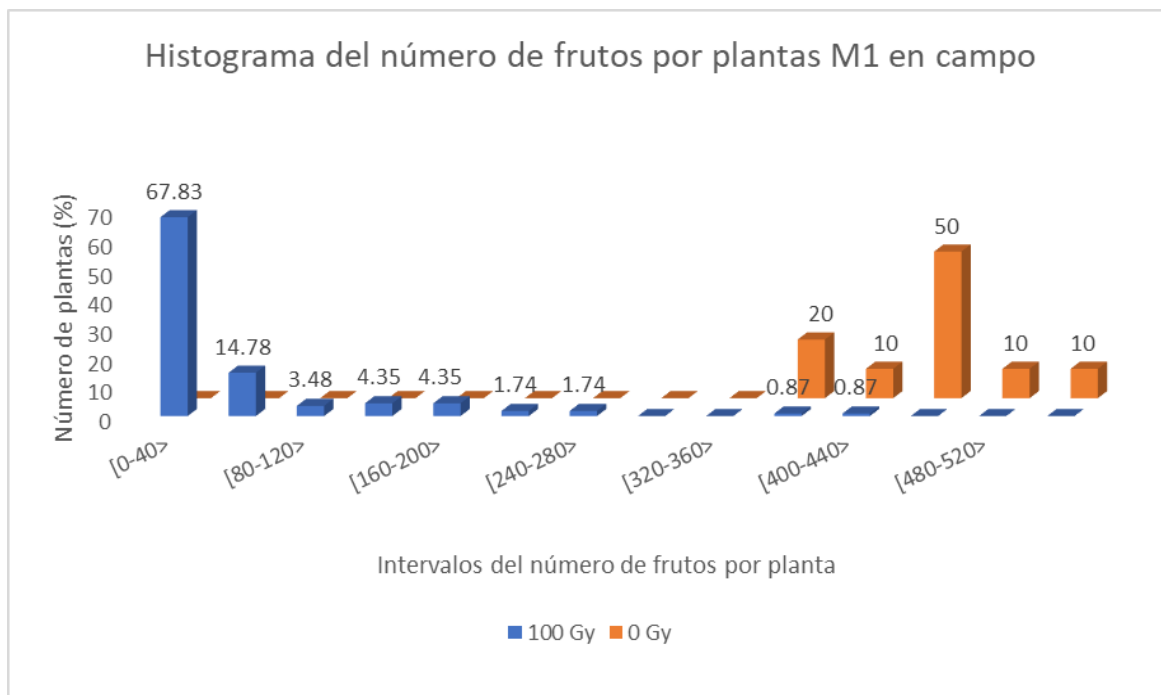


Figura 35: Histograma de frecuencias (%) del número de frutos por plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.4.3. Peso de 100 frutos

Se realizaron 03 (tres) cosechas desde la segunda evaluación (momento de inicio de presencia de frutos maduros) hasta que las plantas irradiadas no presentaron frutos que cosechar; sin embargo, debido a que no todas las plantas produjeron frutos, ni todas produjeron igual cantidad de estos y con la mayoría de las plantas M1 con menos de 40 frutos producidos por planta (Figura 35), se estimó el peso de 100 frutos a partir de los frutos cosechados de cada planta. Se obtuvo variación en los pesos promedio estimados de 100 frutos por planta, siendo los valores más bajos correspondientes a las plantas M1, con 78.3 gramos frente a un mayor valor en plantas control con 161.5 gamos. En promedio total, los valores para esta característica siguieron similar tendencia, siendo de 143.92 gramos en plantas irradiadas (100 Gy) mientras que las plantas control (0 Gy) presentaron el valor medio de 197.36 gramos; asimismo los valores máximos con 190.81 gramos en plantas irradiadas y 232.38 gramos en plantas no irradiadas (Figura 36). El peso promedio estimado de 100 frutos por planta control fue similar con lo reportado por Alvarado (2016) para accesiones de la variedad Típica en la misma localidad en estudio.

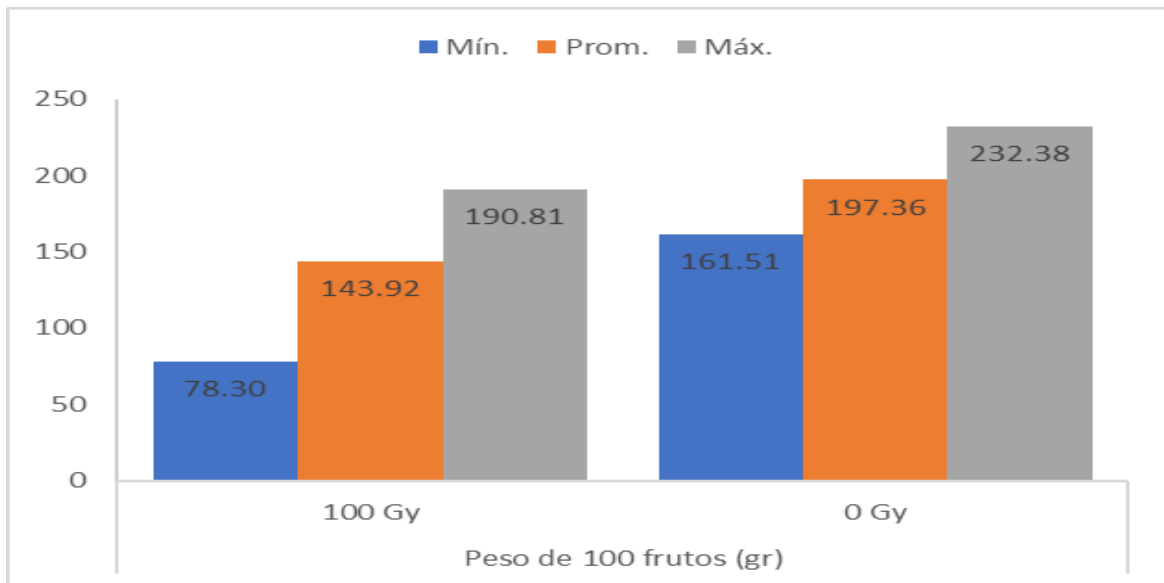


Figura 36: Valores mínimo, promedio y máximo del peso de 100 frutos en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.4.4. Peso cerezo

Como fue mencionado en la sección anterior, y además de que la maduración de frutos, y por lo tanto cosecha de estos no fueron uniformes; asimismo, no se cosecharon igual cantidad de frutos totales en todas las plantas M1 ni control, sumado a diversos factores que generaron caída o pérdida de frutos sin ser cosechados, lo que sin duda afectó el parámetro de peso de cerezo por cada evaluación y total. Bajo las condiciones expuestas, existieron plantas M1 que no produjeron frutos, mientras que al menos hubo una planta que produjo mayor cantidad en comparación al resto. Con respecto a las plantas control, existió al menos una planta que tuvo bajo porcentaje de madurez de frutos hasta la última evaluación, reduciendo el valor mínimo de este parámetro para el grupo correspondiente (Figura 37).

Los frutos presentes no maduraron de manera similar, comparando plantas M1 y control, ni dentro de las plantas irradiadas, si bien esto podría deberse a diversos factores, como ambientales, es una característica para considerar en búsqueda de homogeneidad en la maduración y optimización de cosecha u otro aspecto de interés relacionado.

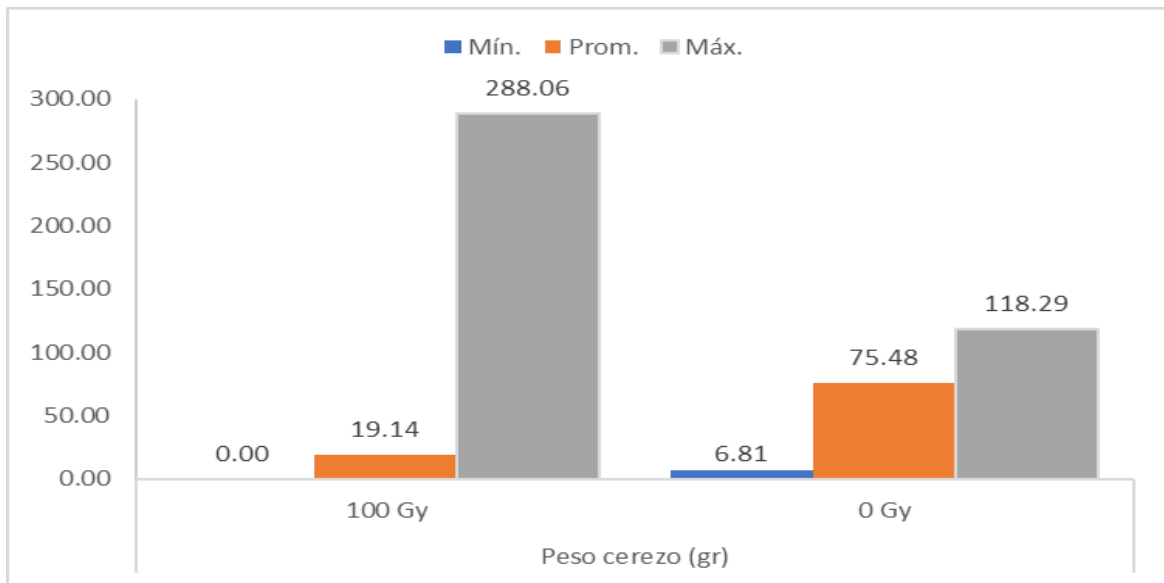


Figura 37: Valores mínimo, promedio y máximo del peso de café cerezo en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

4.4.5. Frutos anómalos

Se encontraron diferencias en cuanto al porcentaje de frutos anómalos por planta, presentándose los mayores valores en plantas irradiadas con un mínimo de 4% de frutos con anomalías, frente a 1.82% en plantas no irradiadas. El porcentaje promedio de frutos con defectos por planta fue de 26.2% en plantas M1, mientras que este valor fue de 2.61% en plantas control. El máximo porcentaje de frutos con deformidad o vanos en plantas irradiadas fue del 100% del total de frutos en una planta, mientras que no se encontró más del 13.33% del total de frutos con anomalías en las plantas no irradiadas (Figuras 38 y 39).

Los resultados obtenidos con respecto a producción y/o esterilidad siguieron la tendencia de lo indicado por Avendaño-Arrazate *et al.* (2021), quienes indicaron una notable reducción en los valores promedio y máximos del peso de frutos por planta, peso de 100 frutos y del peso y porcentaje de frutos vanos en plantas de café de la variedad Oro Azteca inducidas con rayos gamma (100 Gy) en condiciones semi controladas, con respecto a plantas control. Asimismo, Siddique *et al.* (2020) indicaron, para plantas M1 de pimienta inducidas con EMS, la presencia de esterilidad masculina y presencia de plantas sin desarrollo reproductivo, mencionando que estos son indicadores de la posible acción de la radiación. Resultados similares fueron reportados por Arisha *et al.* (2015), encontrando para pimienta, una disminución del número de semillas por fruto y esterilidad del polen.

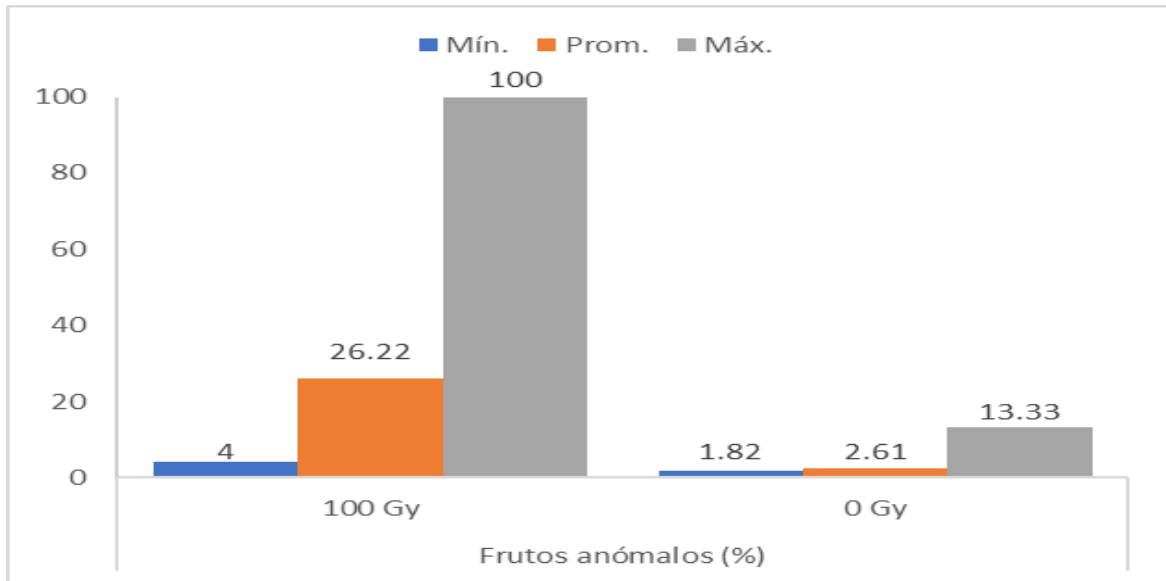


Figura 38: Valores mínimo, promedio y máximo del número de frutos anómalos (%) por planta en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Lo mencionado sugiere el efecto de la radiación sobre la esterilidad y/o producción en plantas M1 de café. Por otro lado, observando la posición relativa de las plantas M1 con mejores valores en estos parámetros con respecto a las plantas control (las que fueron sembradas contiguas y entre las irradiadas y el banco de germoplasma del café), se logró apreciar la existencia de una gradiente con clara tendencia a disminuir los valores de producción y aumentar los relacionados a una posible esterilidad a mayores distancias de las plantas control. Esta es una observación importante, pues el efecto de la radiación es mencionado sobre la esterilidad masculina y siendo la especie *C. arabica* una especie con un grado de autopolinización del 90-95%, la producción de frutos es altamente dependiente de la acción del grano de polen sobre la misma flor en la que ha sido producido, siendo además fácilmente diseminado por el viento y con participación de insectos.

Wintengs (2004) indica la relación de las anomalías en frutos de café con alteraciones genéticas o factores externos, indicando la poliembrionía como responsable de formación de frutos “elefante” como la formación de dos o más embriones desarrollados en una misma cavidad de un mismo ovario; además, relaciona la monospermia o desarrollo de una sola semilla por el aborto de un embrión con una deficiencia en la polinización o defectos en el grano de polen. Adicionalmente, indicó la presencia de granos vanos o vacíos por causas genéticas y/o fisiológicas.



Figura 39: Anormalidades presentes en semillas de frutos producidos por plantas M1 (frutos con semillas triangulares, aborto de embrión, frutos vanos y con semillas caracol).

Otros autores han indicado que el porcentaje de frutos con defectos es generalmente debido a factores genéticos, afectando el rendimiento potencial, asimismo afectados por factores ambientales y vegetativos desfavorables, por lo que es una característica que debe ser evaluada durante varios años. En relación con esto, es indicada la presencia de frutos con tres semillas o más y de granos triangulares debido a aberraciones genéticas que pueden ser transmitidas hereditariamente, además de frutos con una sola semilla debido al aborto del ovario, entre otros defectos (Alves *et al.*, 2010; Flórez *et al.*, 2018).

La esterilidad como lesión debida a la radiación en la generación M1 ha sido caracterizada, y es por estas características que es recomendado que plantas M1 sean sembradas distantes a plantas de la misma especie en caso de existir posibilidad de polinización entre estas, lo que no se dio en el presente estudio, teniendo potencial influencia en la variable en cuestión (Wintgens, 2004; Guimarães *et al.*, 2008; Maluszynski *et al.*, 2009; Flórez *et al.*, 2018; FAO/OIEA, 2021).

4.5. Susceptibilidad a estreses bióticos

4.5.1. Incidencia de Roya del café

Hubo diferencias del comportamiento frente a la roya de café (*Hemileia vastatrix*) entre plantas irradiadas (100 Gy) y plantas control (0 Gy), así como variación de la incidencia para esta enfermedad dentro de la población de plantas irradiadas, entre tercios de la planta y entre evaluaciones.

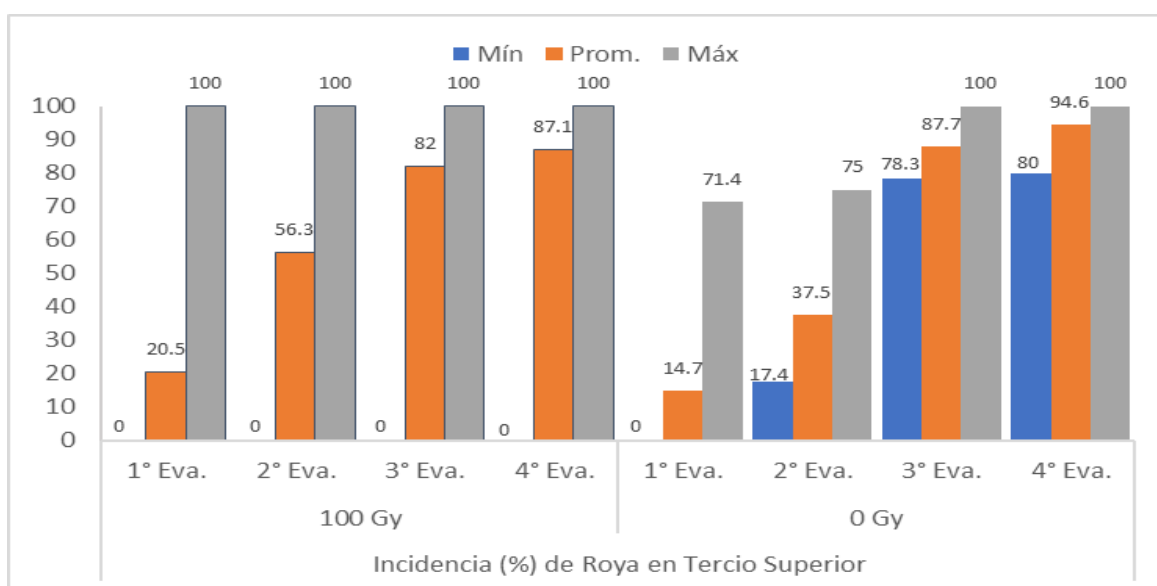


Figura 40: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio superior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

En la Figura 40 se puede observar los valores extremos y promedios en el tercio superior de la planta, donde la incidencia de la roya del café aumentó con el tiempo, saliendo relucir la presencia de al menos una planta M1 sin incidencia de roya durante las cuatro evaluaciones, indicando el valor mínimo de 0% de incidencia en todas las mediciones del tercio superior de plantas M1. Los valores mínimos en plantas control pasaron de 0%, 17.4%, 78.3% y 80% de la primera a la cuarta evaluación, respectivamente. Los valores máximos de incidencia de roya fueron del 100% para las plantas M1 durante las cuatro evaluaciones, indicando que existió al menos una planta con este valor durante todas las evaluaciones; mientras que en las plantas no irradiadas las incidencias fueron respectivamente de 71.4% y 75% en la primera y segunda evaluación, llegando al 100% a partir de la tercera evaluación.

En promedio, los valores de incidencia sobre el tercio superior fueron mayores en las plantas irradiadas durante las dos primeras evaluaciones, con 20.5% y 56.3% de incidencia, frente a 14.7% y 37.5% de las plantas control, estas últimas presentaron mayores valores a partir de la tercera evaluación con 87.7% y 94.6% de incidencia para la cuarta evaluación, frente a 82% y 87.1% en las plantas M1.

Similar tendencia, pero con mayores valores se presentó en el tercio medio de la planta, como se observa en la Figura 41, resaltando la incidencia mínima de 0% en la población M1 durante las dos primeras evaluaciones, la que aumento en la tercera y cuarta evaluación, llegando a valores de incidencias mínimas de 28.6% y 49.2%, respectivamente. Con respecto al promedio, este valor aumentó con el paso del tiempo, pero siempre fue menor en plantas M1 que en el grupo control. Los valores máximos fueron del 100% de incidencia tanto para las plantas irradiadas (100 Gy) como en plantas control (0 Gy) durante las cuatro evaluaciones.

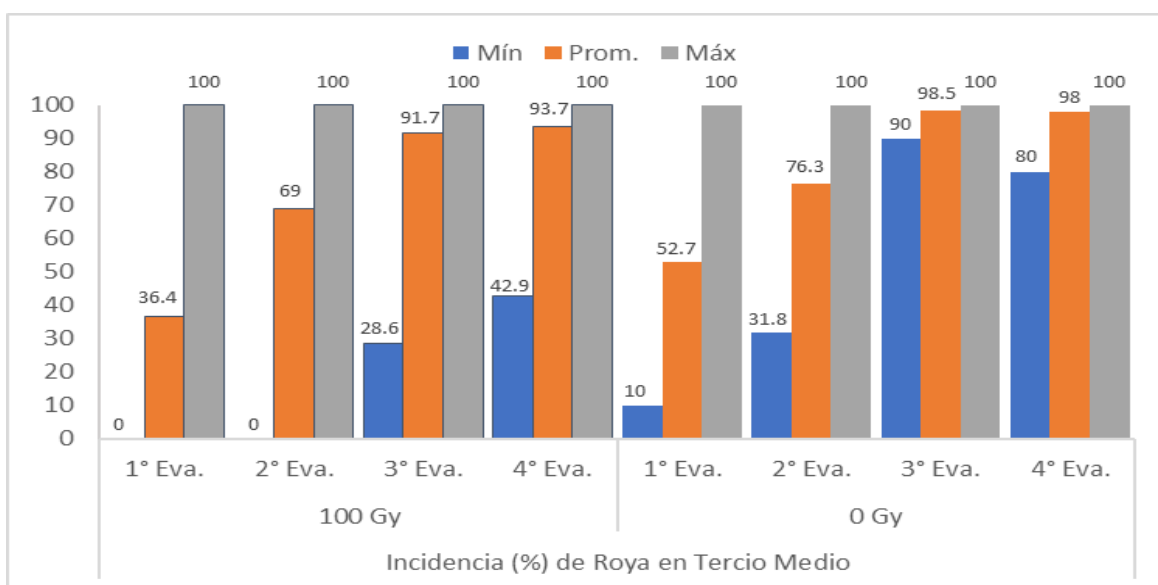


Figura 41: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio medio, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Los mayores valores de incidencia de la roya del café se dieron en el tercio inferior de la planta, notándose nuevamente la presencia de al menos una planta de la población M1 con incidencia del 0% durante las dos primeras evaluaciones, frente a valores de 50% y 85.7% en las plantas control y para las mismas evaluaciones (Figura 42). La incidencia mínima se mantuvo en el 50% en las plantas irradiadas hasta la cuarta evaluación, mientras que en las

plantas control esta aumentó hasta valores de 87.5% para la cuarta evaluación. Esto indicó que al menos un individuo de las plantas M1 respondió diferencialmente con respecto a las demás plantas irradiadas y al control.

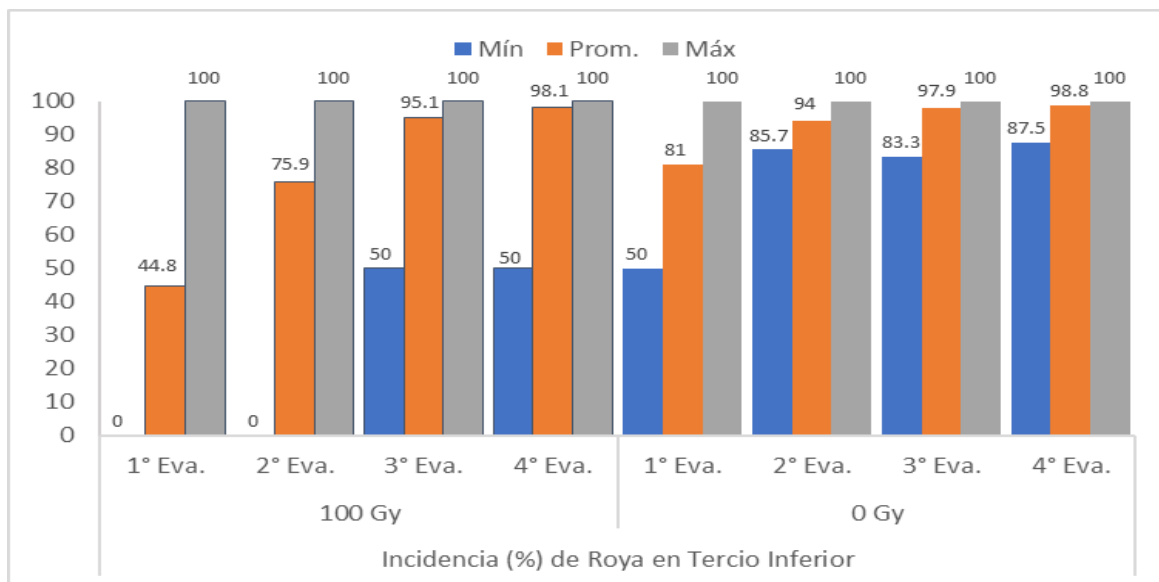


Figura 42: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café en el tercio inferior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

En la Figura 43 se observan los valores medios y extremos en cada una de las evaluaciones para el promedio de los tres tercios de las plantas M1 y control en condiciones de campo. Se vio una tendencia similar a lo analizado para cada tercio, resaltando de que en la población de plantas M1, al menos existió un individuo con nula incidencia de roya durante las dos primeras evaluaciones en todo el árbol, y luego la incidencia mínima de las plantas irradiadas aumentó en la tercera y cuarta evaluación, con valores de 30% y 47.6% de incidencia, respectivamente. Los valores mínimos de incidencia en las plantas control analizando los tres tercios, iniciaron con 23.1% y aumentaron con el paso del tiempo hasta tomar valores de 89.2% en la última evaluación.

Con respecto a valores promedio para los tres tercios, las plantas irradiadas siempre presentaron menor incidencia que el control, y la diferencia entre estas fue disminuyendo con el paso del tiempo, siendo en la primera evaluación los valores de 32.9% y 49.5% correspondientes a las plantas M1 y control, respectivamente, y finalizando la evaluación con 91.8 y 97.1% de incidencia media para las mismas. Los valores máximos fueron cercanos o iguales 100% durante las cuatro evaluaciones.

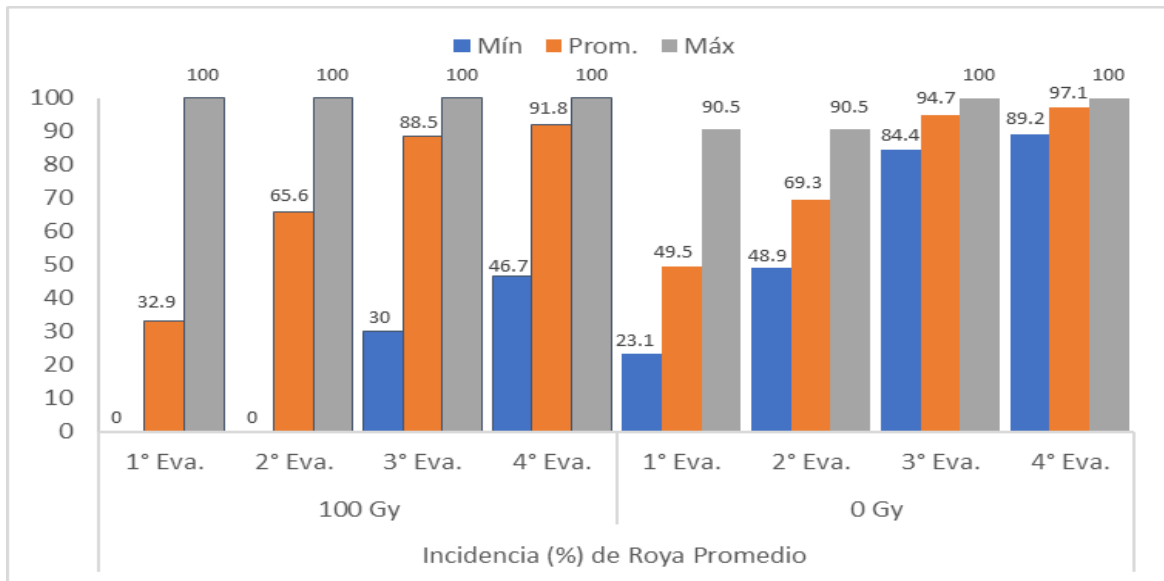


Figura 43: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café por planta (promedio de tres tercios), a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Analizando el promedio de los tres tercios y las cuatro evaluaciones, se logró apreciar que, de forma general, las plantas M1 presentaron menor incidencia de la roya del café, con valor de incidencia mínima de 22.6% frente a 67.8% de su contraparte. Los valores promedios fueron menos distantes, con 69.7% para las plantas irradiadas (100 Gy) y 77.6% para el grupo control (0 Gy). Para el caso de valores máximos, se dio lo contrario, con valores mayores en plantas irradiadas (97.3%) frente al control (95.2%). Esto sugirió cierta diferencia y tendencia a menores valores de incidencia de la roya del café en las plantas M1 y la existencia de variabilidad dentro entre estas con presencia de plantas con diferente comportamiento y que podría incluir una mejor respuesta frente a la enfermedad (Figura 44).

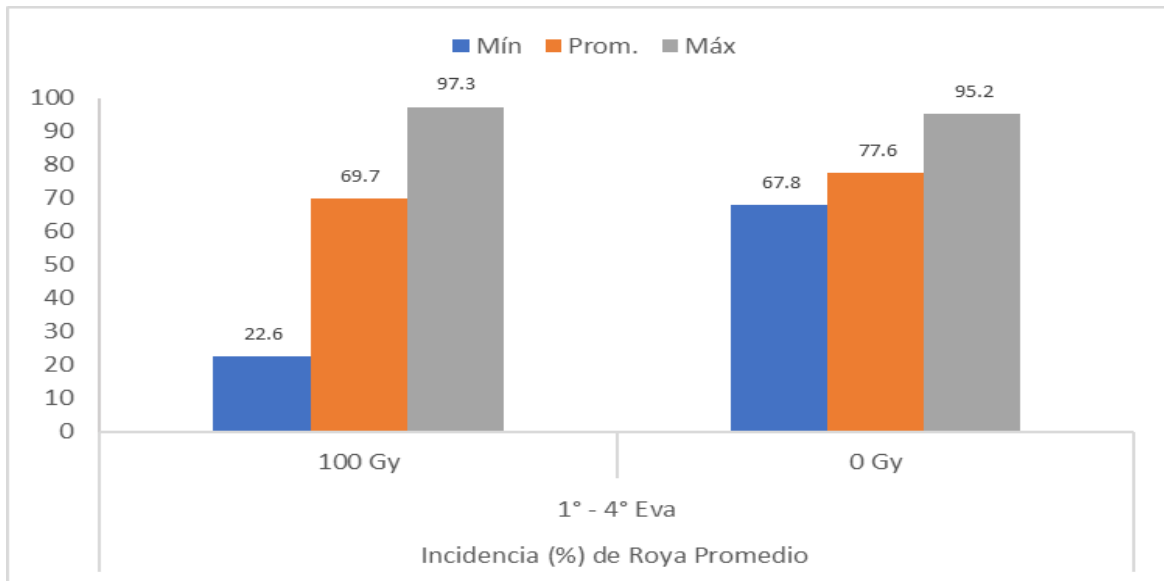


Figura 44: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la roya del café por planta durante toda la evaluación, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Del análisis del histograma de frecuencias para la incidencia media de tres tercios y cuatro evaluaciones, se notó mayor variabilidad entre plantas M1, apreciándose una distribución asimétrica positiva en las plantas irradiadas (Figura 45).

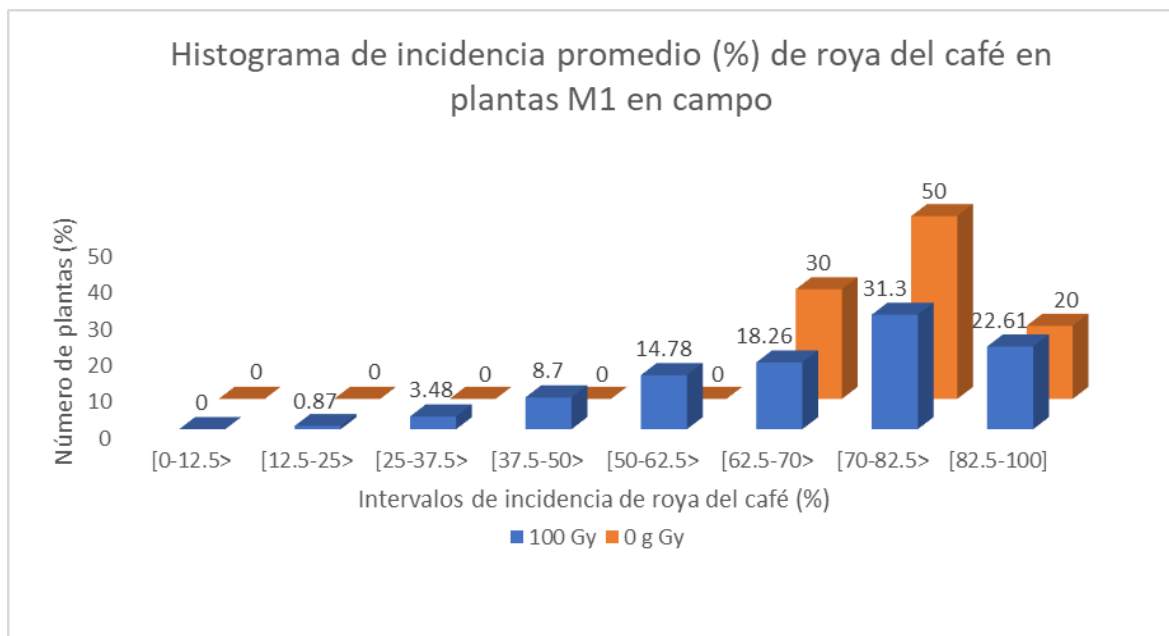


Figura 45: Histograma de frecuencias (%) de la incidencia promedio por planta para toda la evaluación de la incidencia (%) de la roya del café en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Se notó la presencia de al menos una planta M1 con valores entre 12.5 y 25% de incidencia y ninguna planta control con menos de 62.5% de incidencia. Más de un cuarto del total de plantas M1 presentaron menor incidencia que el mínimo valor obtenido en todas las plantas control. Los valores con mayores frecuencias fueron los comprendidos entre 70% y 82.5% de incidencia para las plantas irradiadas (con menos de la tercera parte de la población sobre este intervalo) y las plantas control (con la mitad de su población sobre este intervalo).

Los resultados obtenidos indicaron, de forma general, que plantas irradiadas presentaron menor incidencia (%) de la roya del café, con respecto al control; asimismo, la incidencia fue mayor desde el tercio inferior hacia el superior en todas las plantas, lo que coincidió con los resultados de Alvarado-Huamán (2016) al evaluar la enfermedad en la misma localidad en estudio para diversos cultivares de café e indicando mayores valores para la variedad Típica.

Por su parte, Avendaño-Arrazate *et al.* (2021) evaluaron la incidencia de la roya del café en plantas M1 de similar edad en la variedad Oro Azteca sometidas a radiación gamma (100 Gy), sin encontrar diferencias con respecto al control (0 Gy), asimismo, los valores de incidencia de roya que obtuvieron (6.12% para el control) fueron muchos menores a los obtenidos en el presente estudio, probablemente por las condiciones de manejo otorgadas al cultivo, la unidad de muestreo o evaluación y condiciones ambientales. Adicionalmente, López-Gamboa (2018) indicó incidencias de hasta el 100% para las últimas evaluaciones de plantas M1 de café inducidos con azida de sodio, en condiciones de campo además de un progreso de la enfermedad en el tiempo similar a lo encontrado en este estudio, coincidiendo con la presente tendencia.

Borjas-Ventura *et al.* (2020), evaluaron el comportamiento de distintos cultivares de café en la misma localidad en que se realizó el presente estudio, indicando resultados en la variedad Típica y otras, a partir de donde los mayores valores de intensidad de la enfermedad se dieron durante los meses de abril, mayo y junio, que coincidieron con la presente investigación. Indicaron mayores valores para el tercio inferior y menores en el superior, coincidiendo con la tendencia de los resultados expuestos, tanto en las plantas M1 como en las plantas control. Además, resultaron valores de severidad considerados como medios con respecto a otras investigaciones para la variedad Típica, atribuyendo esto a diferentes factores.

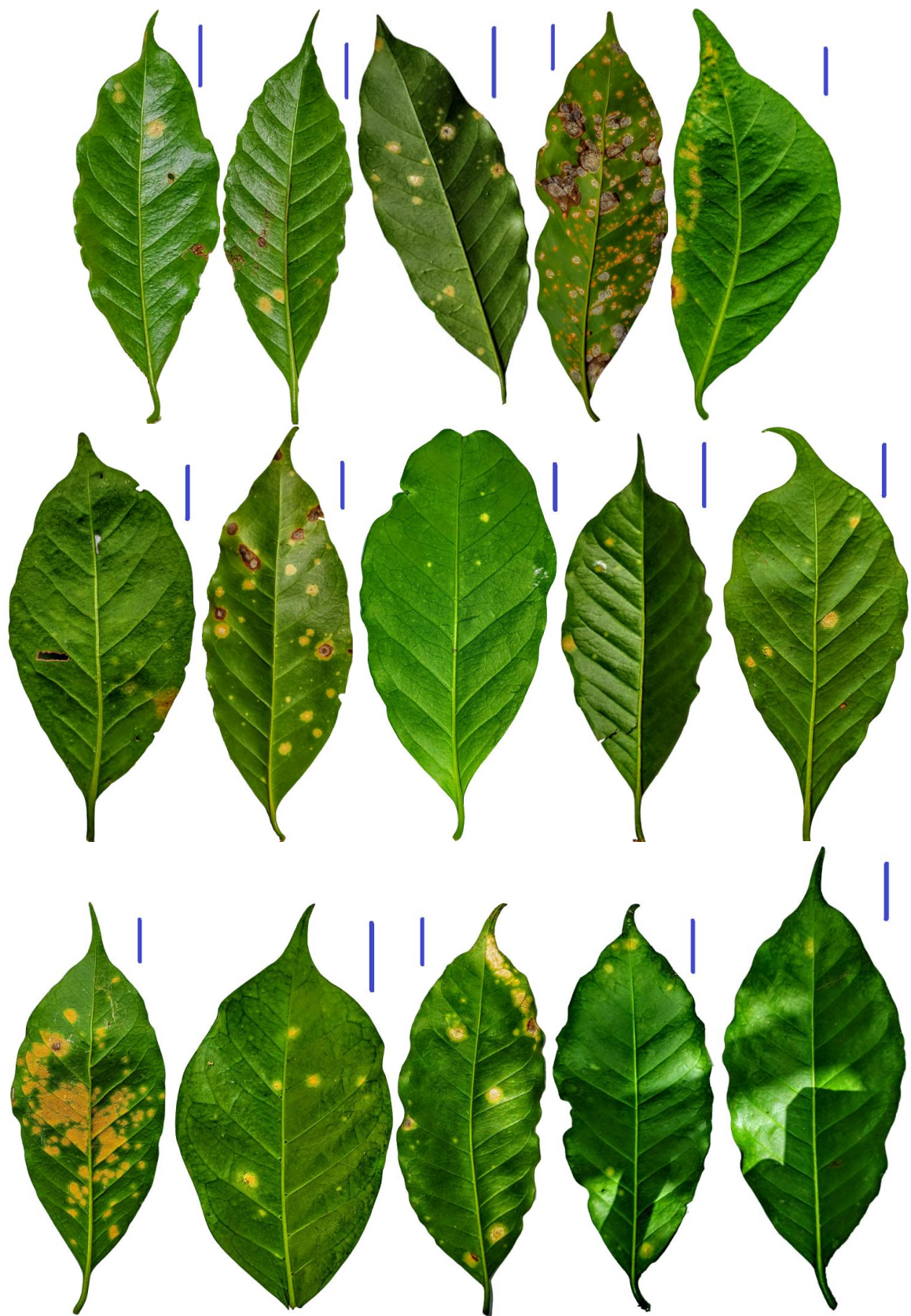


Figura 46: Variaciones de la respuesta de plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L var. Típica frente a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de campo a los tres años del trasplante (1).

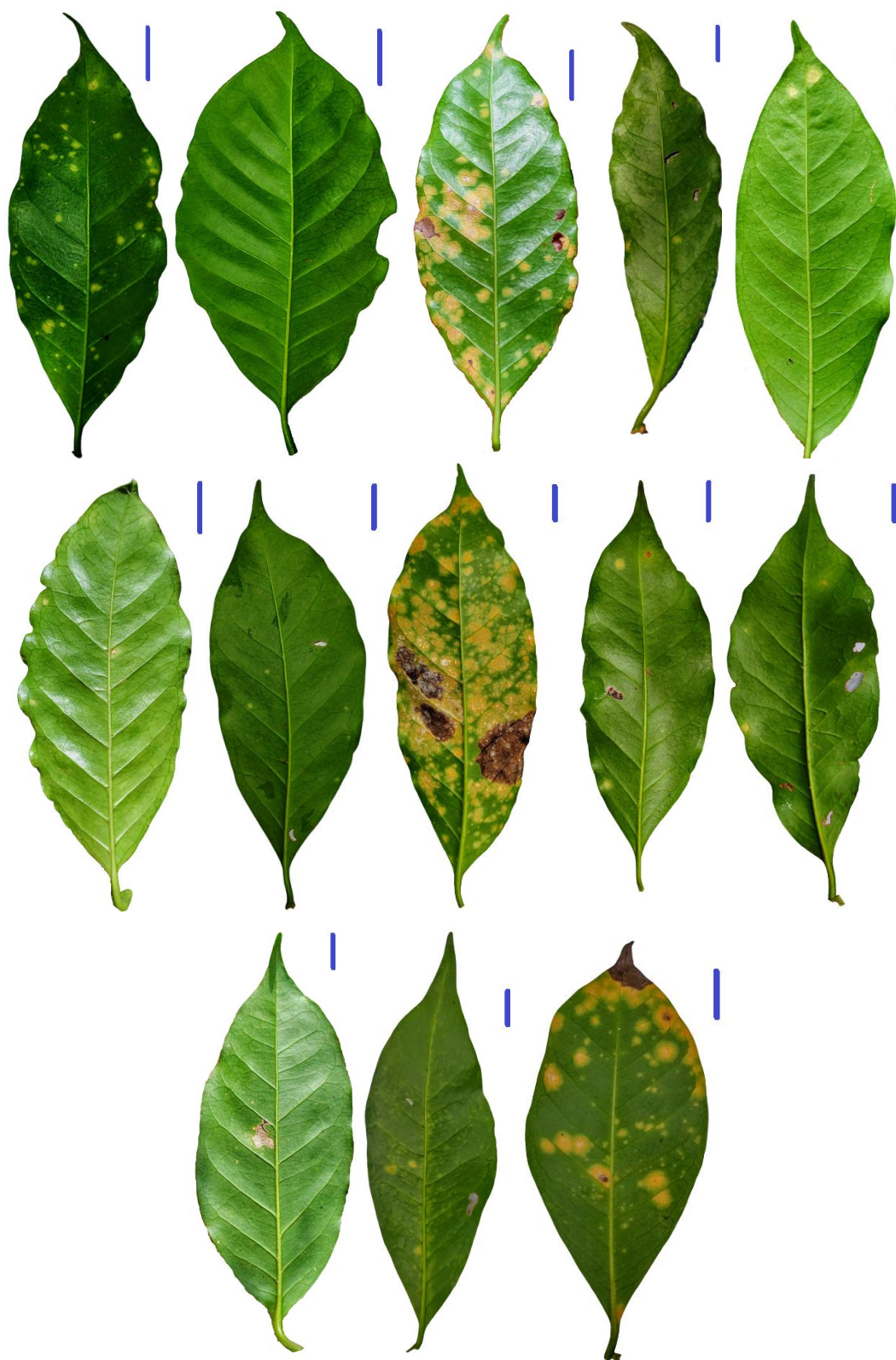


Figura 47: Variaciones de la respuesta de plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L var. Típica frente a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de campo a los tres años del trasplante (2).

Adicionalmente, los resultados mostrados concuerdan con lo reportado por Alvarado *et al.* (2020), quienes indicaron para diferentes accesiones de la variedad Típica y en la misma localidad, similar tendencia de la dinámica de la roya del café y mayores valores de la severidad de esta en los tercios inferiores, así como un aumento de esta entre los meses de abril y junio (severidad máxima cercana al 35%), coincidentes con los períodos de la evaluación realizada a las plantas M1, sin embargo, atribuyendo esto a menores lluvias.

La intensidad de la enfermedad y su epidemiología dependen de diversos factores y no solo de la genética del cultivar o del patógeno, siendo indicado que el nivel de sombra, estatus nutricional y estacionalidad de la planta, la carga fructífera, la humedad y temperatura, las condiciones ambientales y micro ambientales, entre otros, influyen en el desarrollo de la roya del café. Usualmente el período de lluvias más intenso en la zona en estudio comprende el lapso de octubre a abril, lo que coincide con el período de cosecha; sin embargo, para esta situación ocurrió un retraso del inicio de lluvias, lo que además de afectar el desarrollo del fruto, pudo haber generado desbalances e influido en la susceptibilidad ante la roya del café (Julca *et al.*, 2013; Julca *et al.*, 2019; Borjas-Ventura *et al.*, 2020).

En relación con las condiciones micro ambientales, se apreció un gran aumento de la incidencia en el tiempo con el inicio de las lluvias, siendo algo a resaltar el nivel de sombra presente en ciertas zonas del área de evaluación, la que afectó de manera diferencial especialmente a las plantas irradiadas (M1), generando gotas de mayor tamaño que posiblemente hayan sumado en la epidemiología al aumentar la velocidad de dispersión y alcance de las uredosporas al caer sobre las hojas de café y generar mayor impacto sobre estas, no obstante no realizando su lavado y consecuente disminución del inóculo secundario (Segura-Escobar, 2017; Avelino *et al.*; 2022).

Un aspecto relevante de la presente evaluación es que se midió la intensidad de la enfermedad en función de la incidencia como el porcentaje de hojas enfermas del total de hojas presentes en una rama por cada tercio del árbol, existiendo evidencia de que existe muy alta relación entre la incidencia media y severidad media de la roya del café a nivel poblacional, inclusive en condiciones de San Ramón, Chanchamayo, siendo el empleo de esta relación de gran utilidad debido al menor tiempo y mayor facilidad para la evaluación de la enfermedad en función de la incidencia (Campbell y Madden, 1990; Silva-Acuña *et al.*, 1999; Samayoa y Sánchez, 2000; López *et al.*, 2018; Julca *et al.*, 2019).

La incidencia se define como el grado de enfermedad en una población del hospedante, expresada como el porcentaje de individuos o especímenes (plantas, hojas, ramas, frutos o agrupamiento de estos) sintomáticos, de un total evaluado; por otro lado, la severidad es el área relativa (o absoluta) de tejido infectado por la enfermedad (sintomático), siendo una medición más laboriosa pero que expresa de manera más fehaciente la cantidad de tejido lesionado por la enfermedad (Campbell y Madden, 1990; Ribeiro do Vale *et al.*, 2004; Madden *et al.*, 2007; Niks *et al.*, 2011). Este último parámetro adquiere relevancia en las mediciones o detecciones de niveles o grados de resistencia o tolerancia en campo en enfermedades policíclicas, tales como en la interacción *Coffea arabica* y las distintas posibles razas presentes de *Hemileia vastatrix*, al tener la probabilidad de mostrar y cuantificar la naturaleza de esta; no obstante, siendo requerido el uso de herramientas como escalas o diagramas de áreas estándar para una más confiable y exacta cuantificación de la enfermedad (Madden *et al.*, 2007; Niks *et al.*, 2011; Alvarado, 2011; Bock *et al.*, 2016; Florez *et al.*, 2018; López *et al.*, 2018).

En el presente estudio, se realizó la evaluación en función de la incidencia debido a que no se realizó selección en esta generación, no obstante, siendo recomendable la evaluación en función de la severidad, con el objetivo de determinar los diferentes grados de resistencia o tolerancia con mayor exactitud en la generación M2, donde iniciará la selección, además de la cuantificación integral de la enfermedad en función del área bajo la curva del progreso de la enfermedad, durante al menos cinco momentos de evaluación (Campbell y Madden, 1990; Madden *et al.*, 2007; Niks *et al.*, 2011).

En este estudio no se encontraron diferencias notables en la forma o tipo de pústulas y características de las lesiones ocasionadas por *H. vastatrix*; sin embargo, ha sido indicado que características como forma, densidad e intensidad de esporulación visibles, podrían sugerir algún tipo de interacción peculiar, como algún nivel de resistencia, debiendo ser un punto que considerar en las evaluaciones futuras (Rodrigues *et al.*, 1975; Eskes, 2005).

La roya del café es un grave problema que afecta a este cultivo y principal enfermedad, ocasionando graves epidemias como la que originó pérdidas de casi el 60% de las cosechas, siendo cuantificadas en 290 millones de dólares durante la crisis del año 2013. En relación con esto, estudios sobre la variabilidad de *H. vastatrix* en Perú han identificado la presencia 7 razas en el país, dos de las cuales son de reciente conocimiento y de especial interés debido a que la mayoría de líneas provenientes de Catimores ampliamente

empleados por su resistencia frente a este patógeno, se comportan como susceptibles frente a estas dos nuevas razas (Julca *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020). Frente a esto, resulta muy alentador el comportamiento frente a la roya del café y variabilidad de la población de plantas M1 irradiadas (100 Gy), que resultaron en este estudio, siendo característica limitante la poca variabilidad genética en la especie.

4.5.2. Incidencia de la cercosporiosis del café

Hubo diferencias del comportamiento frente a la cercosporiosis del café (*Cercospora coffeicola*) entre plantas irradiadas (100 Gy) y plantas control (0 Gy), así como variación de la incidencia (%) para esta enfermedad dentro de la población de plantas irradiadas, entre tercios de la planta y entre evaluaciones.

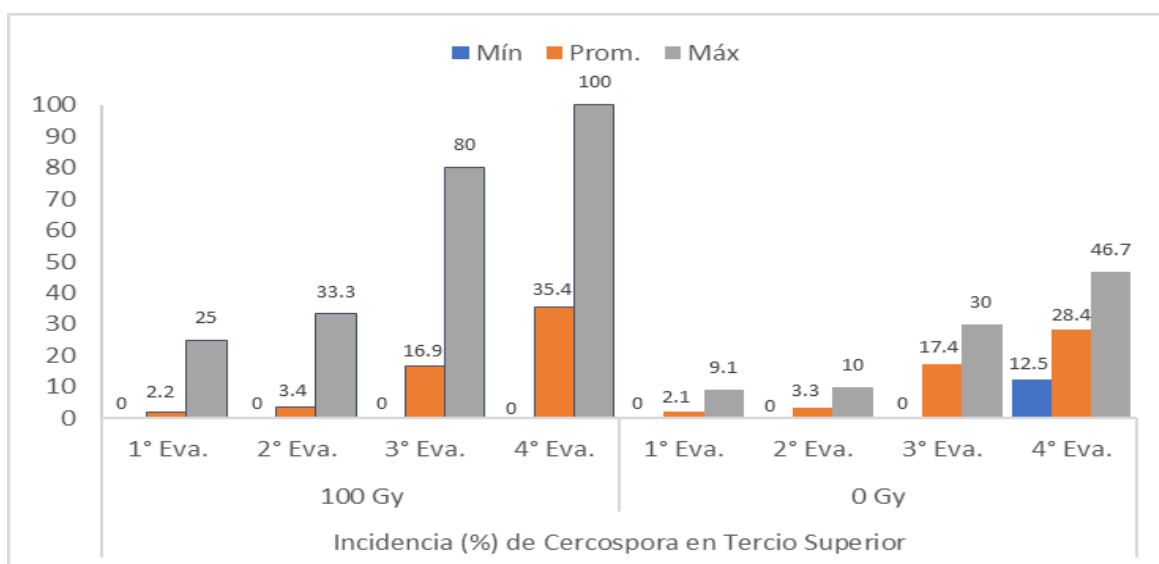


Figura 48: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio superior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

La incidencia de cercosporiosis del café en el tercio superior aumentó con el paso del tiempo. De forma general, los más altos valores se presentaron en el conjunto de plantas M1, habiendo variación dentro de estas, y encontrándose al menos una planta que no presentó síntomas por esta enfermedad durante las cuatro evaluaciones, mientras que todas las plantas control presentaron incidencia de la enfermedad en la última evaluación (Figura 48). Los valores medios de la incidencia aumentaron significativamente en la tercera y

cuarta evaluación y no variaron mucho entre plantas irradiadas y control durante las tres primeras evaluaciones, siendo para la última evaluación los mayores valores los correspondientes a las plantas M1, con 35.4% y 28.4% de incidencia promedio en las plantas irradiadas (100 Gy) frente al control (0 Gy), respectivamente. La mayor diferencia se dio entre los valores máximos, la que se mantuvo con el paso del tiempo, llegando a presentarse una incidencia máxima del 80% y 100% para la tercera y cuarta evaluación en las plantas M1, mientras que, para las mismas evaluaciones, los valores correspondientes a las plantas control fueron de 30 y 46.7%.

En la Figura 49 se muestran los valores de incidencia de la cercosporiosis del café en el tercio medio, la que aumentó con el paso del tiempo y siguió similar tendencia a la indicada sobre el tercio superior; sin embargo, los valores promedio fueron mayores en las plantas M1 solo en la cuarta evaluación, presentándose valores de 37.9% y 20.8% en plantas M1 y control, respectivamente. Las plantas irradiadas presentaron incidencias máximas del 100% a partir de la tercera evaluación y al igual que para el tercio superior, las diferencias más marcadas se presentaron en los valores máximos. Existió al menos una planta de la generación M1 que no presentó síntomas de la enfermedad durante las cuatro evaluaciones.

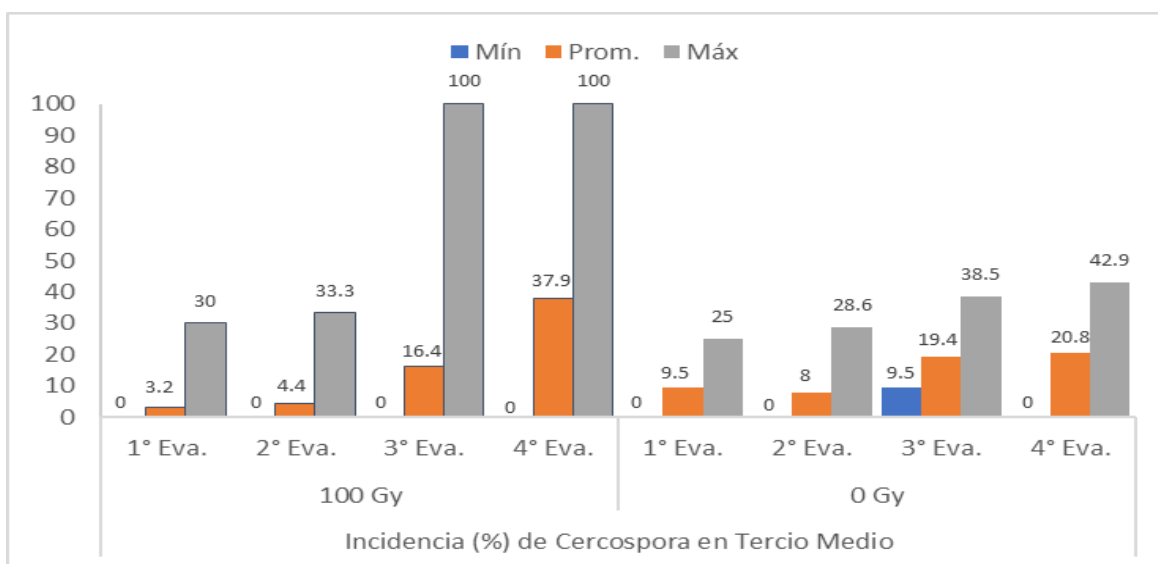


Figura 49: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio medio, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Analizando el tercio inferior, en general, las plantas M1 presentaron mayor incidencia de la cercosporiosis del café, la que aumentó con mayor intensidad en estas con el paso del tiempo (Figura 50).

Asimismo, para el tercio inferior, hubo plantas, tanto en la población de la generación M1 como en el control, que no presentaron incidencia de la enfermedad durante las cuatro evaluaciones, indicándose como valores mínimos de 0% en ambos grupos. Los valores medios de incidencia siempre fueron mayores en las plantas irradiadas, con una diferencia más marcada con respecto al control a partir de la tercera evaluación, llegando a valores de 39.6% frente a una incidencia promedio de 3.1% en las plantas control. Los valores máximos también incrementaron diferencialmente con el paso del tiempo, tomando valores de 75% y 100% para la tercera y cuarta evaluación en las plantas irradiadas, mientras que valores de 20% y 12.5% para las mismas evaluaciones en las plantas control.

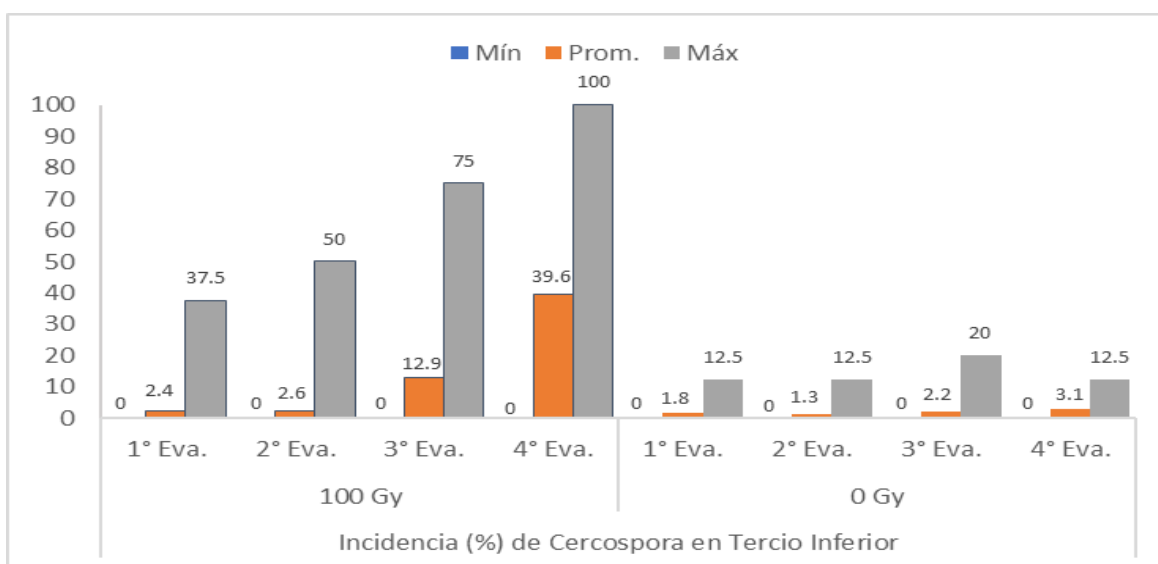


Figura 50: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en el tercio inferior, a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

En la Figura 51 se observa la incidencia promedio para los tres tercios en cada una de las cuatro evaluaciones de las plantas M1 y control. Existió al menos una planta de la población M1 que no presentó incidencia de la enfermedad en los tres tercios durante las cuatro evaluaciones, mientras que los mínimos valores en las plantas control aumentaron a partir de la tercera evaluación, con valores de 6.9% y 12.9% de incidencia mínima en estas,

durante la tercera y cuarta evaluación, respectivamente. Los valores promedio de incidencia fueron menores en plantas M1 durante las dos primeras evaluaciones, los que aumentaron y sobrepasaron a los determinados para las plantas control a partir de la tercera evaluación. Los máximos valores de incidencia de la cercosporiosis del café fueron mayores en las plantas M1 durante las cuatro evaluaciones y aumentaron con el paso del tiempo, llegando al 100% en plantas M1 frente a 44.8% del grupo control, durante la cuarta evaluación.

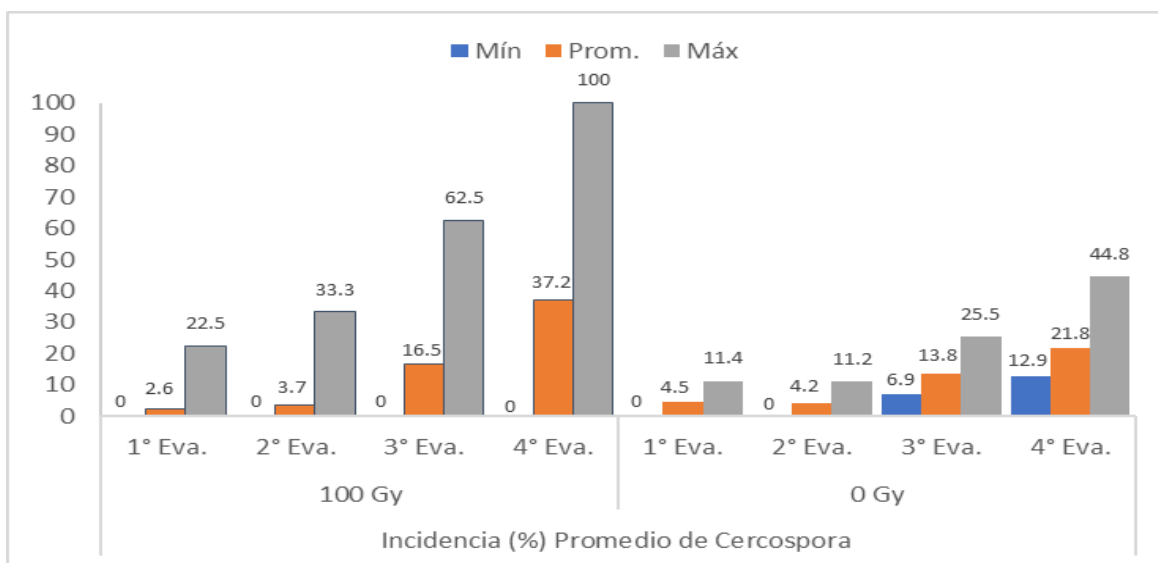


Figura 51: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café por planta (promedio de tres tercios), a lo largo de cuatro evaluaciones, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Analizando el promedio todas las evaluaciones y de los tres tercios, se obtuvo que la mayor amplitud de la incidencia de la cercosporiosis del café se dio en las plantas de la generación M1, indicando un valor mínimo de 0% de incidencia frente a un máximo valor de 36.5%. En cuanto a la incidencia promedio, esta fue mayor en las plantas M1 con 14.9% frente a 10.7% de incidencia en las plantas control; asimismo, el máximo valor de incidencia para toda la planta y las cuatro evaluaciones fue mayor para las plantas M1 con 36.5% frente a 23.2% en las plantas control. Esto da indicios de diferencias en el comportamiento frente a esta enfermedad entre plantas M1 y plantas control, sugiriendo mayores valores de incidencia, en forma conjunta, para las plantas irradiadas, sin embargo, con una mayor variabilidad dentro de las estas e incluyendo valores extremos (Figura 52).

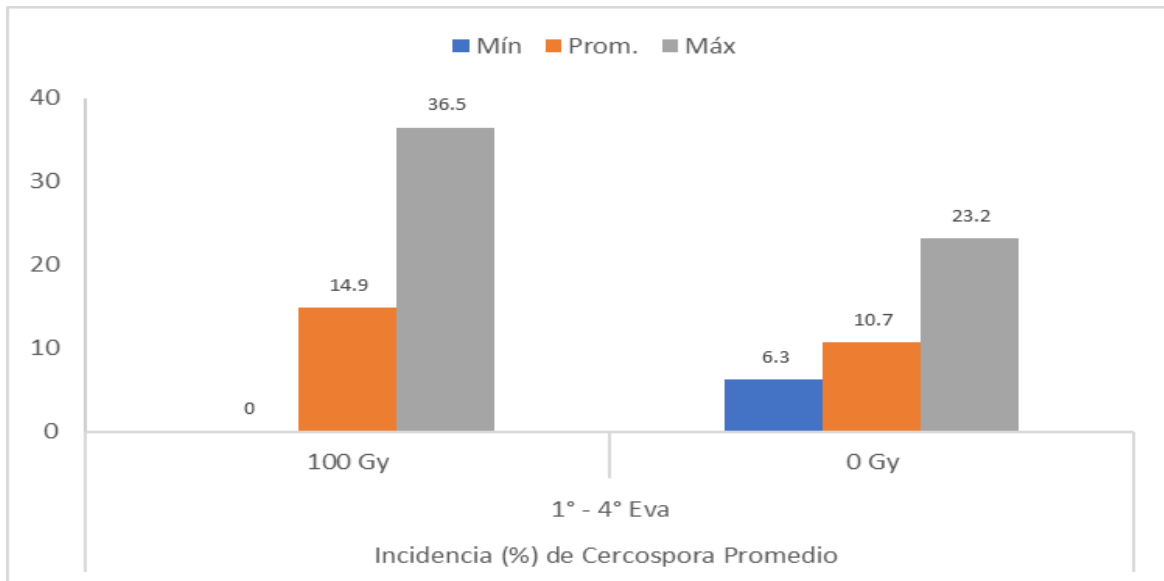


Figura 52: Valores mínimo, promedio y máximo de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café por planta, durante toda la evaluación, en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

La variabilidad indicada en los valores extremos y promedios de la incidencia de la enfermedad para las cuatro evaluaciones y los tres tercios se vio reflejada en el análisis de histograma de frecuencias para todas las plantas durante la última evaluación (Figura 53).

Las plantas M1 presentaron mayor amplitud en la distribución de sus frecuencias, asimismo, se logró apreciar que más del 11% del total de plantas tuvieron menores valores que 4% de incidencia de la enfermedad y que los presentados por todas las plantas control. Asimismo, se logró observar que más del 14% de las plantas M1 presentaron valores de incidencia superiores al 24% y que los presentados por todas las plantas control.

Estos valores indican que, en general, plantas de café M1 presentaron mayores valores de incidencia con respecto al control; asimismo, se dio gran variabilidad de la incidencia de la cercosporiosis entre individuos irradiados, presentando valores menores y mayores que el control.

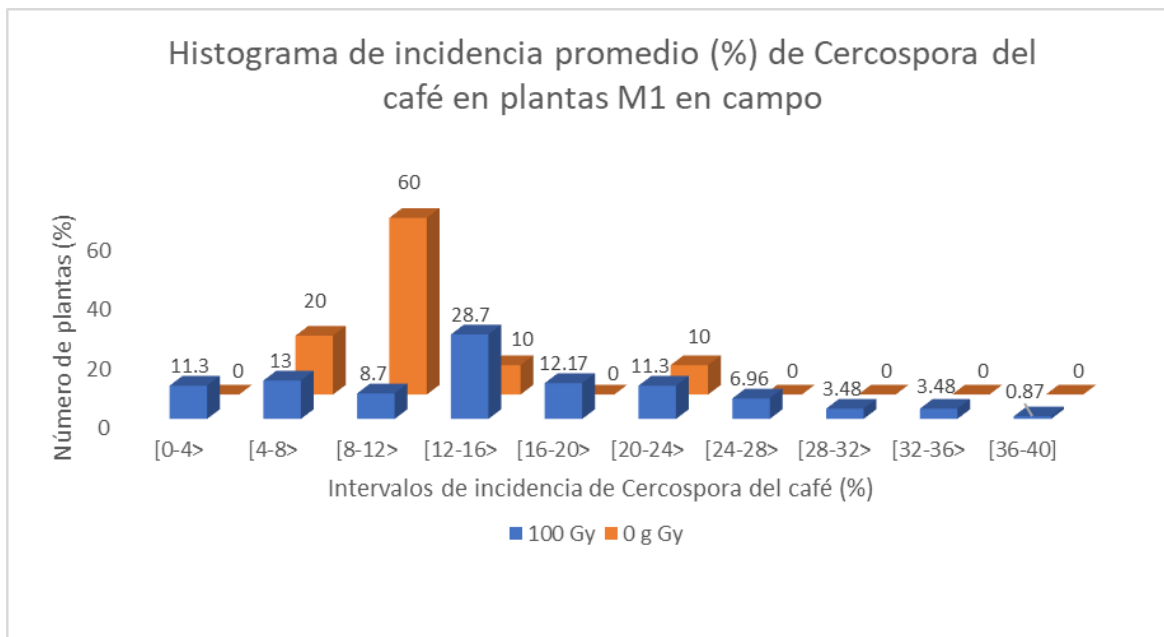


Figura 53: Histograma de frecuencias (%) de la incidencia promedio por planta para toda la evaluación de la incidencia (%) de la cercosporiosis del café en plantas no irradiadas (0 Gy) e irradiadas (100 Gy) de la generación M1 en condiciones de campo.

Avendaño-Arrazate et al. (2021) estudiaron el efecto de los rayos gamma (100 Gy) sobre plantas de *Coffea arabica* L. de la variedad Oro Azteca e indicaron, para la generación M1 en campo bajo condiciones adecuadas, que la incidencia de la cercosporiosis del café aumentó numéricamente sin ser significativa, con respecto al control, coincidiendo con la tendencia de los resultados obtenidos en el presente estudio. Por otro lado, Julca-Otiniano et al. (2018) evaluaron la incidencia de la cercosporiosis de café en tres variedades y relacionaron, de forma general, mayores valores con tercios superiores de la planta debido a la mayor incidencia de luz solar, siendo esto un factor determinante para la activación de la toxina cercosporina como factor de virulencia para el hongo, asimismo por una mayor competencia con otros microorganismos en los tercios más bajos; esto coincidió con la tendencia de este trabajo.

La cercosporiosis del café o mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) es una de las enfermedades más antiguas del café en el mundo y de gran importancia al poder ocasionar pérdidas de hasta el 30%, siendo su infección y desarrollo muy influenciados por la luz (sombra), temperatura, humedad, estado nutricional, carga productiva, entre otros. Se ha intentado desarrollar plantas resistentes a esta enfermedad, sin embargo, no existen

cultivares resistentes a la mancha de hierro del café. Se ha indicado gran variabilidad de la respuesta frente a la enfermedad entre diversos genotipos y dentro de estos mismos, lo que se ha relacionado con la complejidad genética de la respuesta frente a esta enfermedad (Rodrigues *et al.*, 2010; Pozza *et al.*, 2001; citados por Julca-Otiniano *et al.*, 2018; Vale *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2022).

4.6. Análisis multivariados

A partir del análisis de todas las variables cuantitativas para todas las plantas evaluadas y buscando ordenar y representar los datos mediante el análisis de los componentes principales, se realizó la agrupación de las plantas en grupos o clúster (Figura 54).

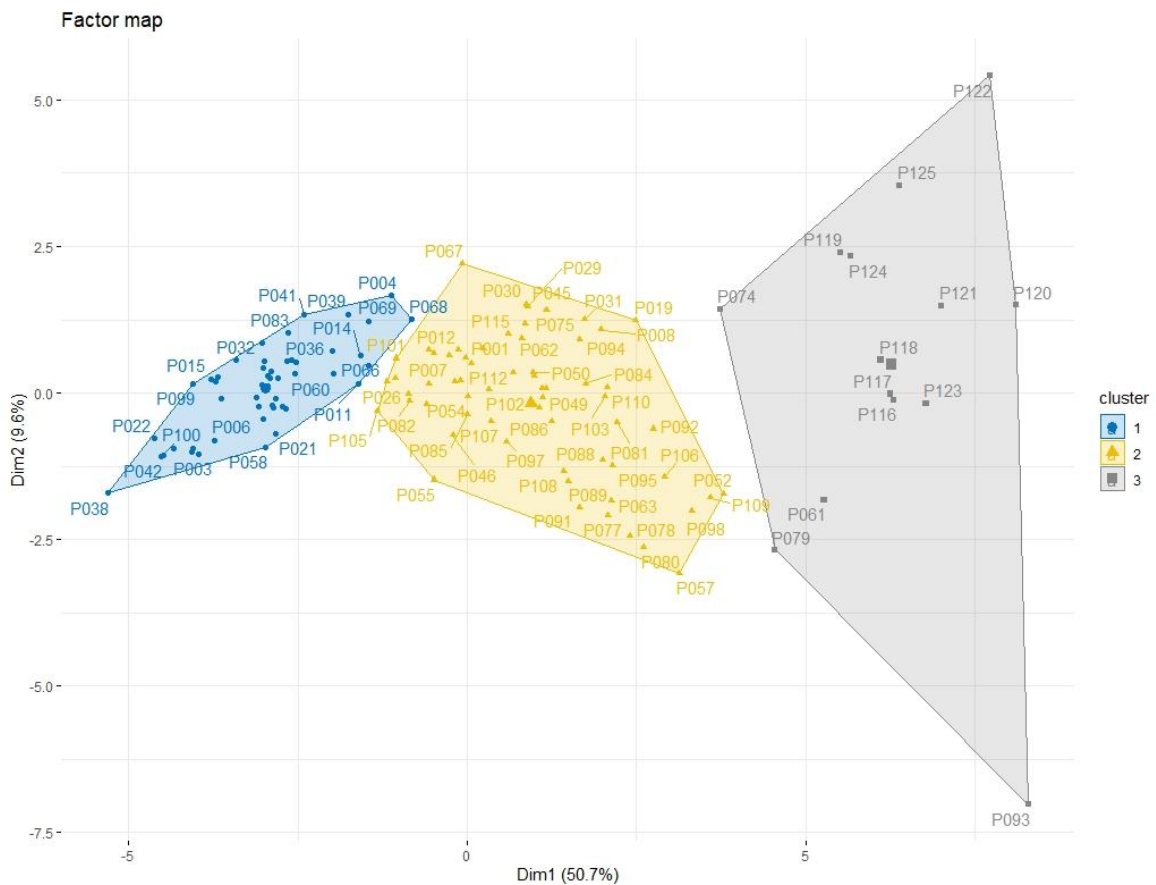


Figura 54: Agrupación de todas las plantas de café (*Coffea arabica* L. var. Típica) M1 y control en diferentes grupos o clústeres

Como se observa en la Figura 54, se pudo determinar la agrupación todas las plantas evaluadas en tres clústeres diferentes. Todas las plantas control pertenecieron al mismo grupo (clúster 3), asimismo algunas de las plantas inducidas con radiación gamma a 100

Gy (M1) se asemejaron a las del control y se agruparon conjuntamente a estas. El resto de las plantas M1 fueron agrupadas en los clústeres 1 y 2. Esto aporta mayores indicios de la existencia de diferencias entre plantas M1 de *Coffea arabica* L. var. Típica (100 Gy) y plantas control (0 Gy), así como dentro del conjunto de plantas irradiadas. Resaltó la numerada como 79, al presentar la menor incidencia de roya de su grupo (M1) y ausencia de cercosporiosis, no obstante, con poca producción de frutos, pero mayor que el promedio M1 y menores valores de altura y número de ramas en comparación con la planta número 74, que fue la que produjo la mayor cantidad de frutos en la generación M1, pudiendo estar esto relacionado con sus características morfológicas más semejantes al control.

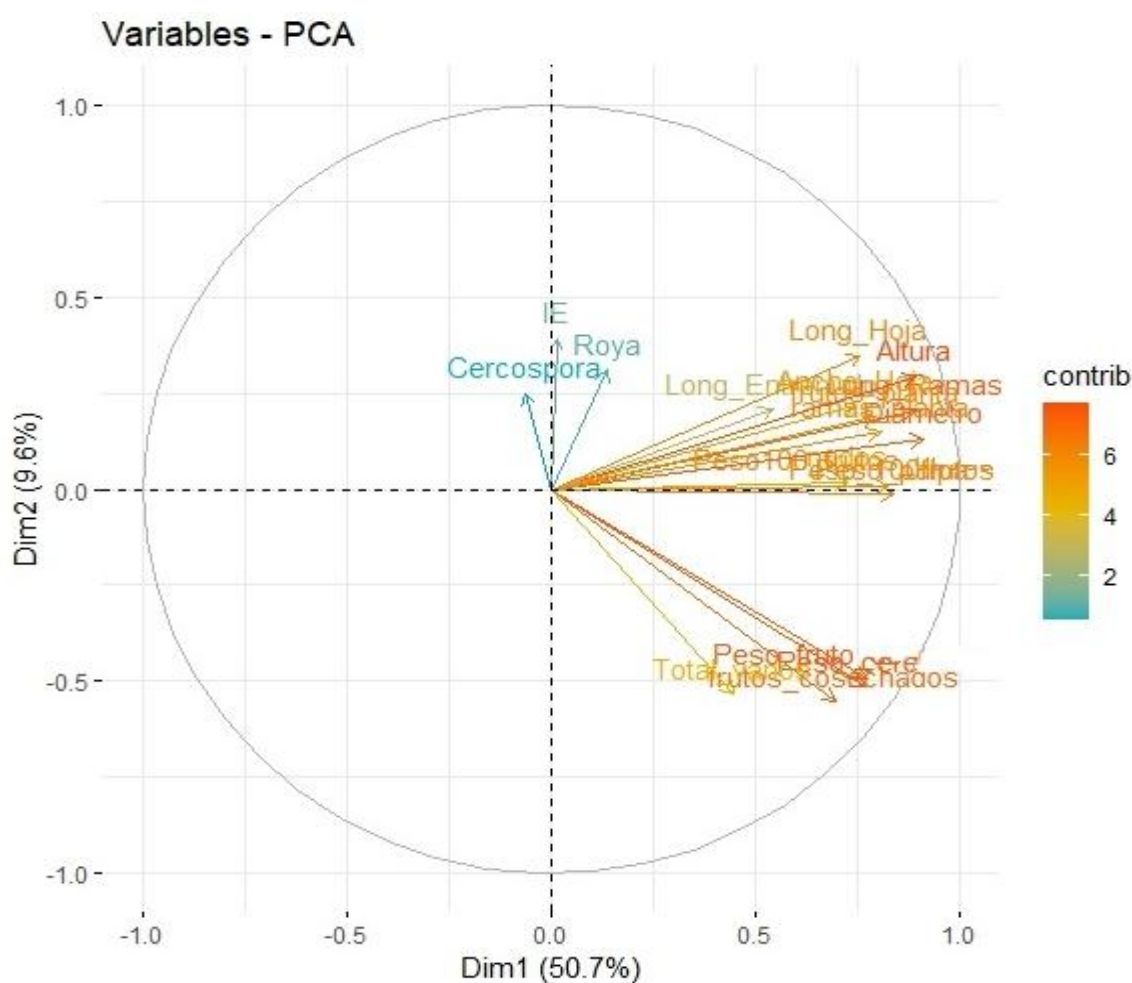


Figura 55: Comportamiento de las variables cuantitativas analizadas del PCA de los datos de evaluaciones en plantas M1 de *Coffea arabica* L. var. Típica (100 Gy) y control (0 Gy).

Las variables que mejor explicaron las diferencia fueron agrupadas en dos componentes principales, los que representaron en conjunto más del 60% de la variabilidad. De estos, el

primer componente principal representó el 50.7% de toda la variación e incluyó a los componentes o variables relacionados a la morfología o crecimiento (altura de planta, longitud y número de ramas, diámetro de tallo, etc.), existiendo correlación entre las variables; mientras que el segundo componente principal representó el 9.6% de la variación total e incluyó componentes relacionados a esterilidad o reproducción. Asimismo, se logró observar que las variables correlacionadas al componente principal 1, es decir las relacionadas con la morfología y crecimiento, permitieron diferenciar mejor al conjunto de las plantas M1 que no produjeron frutos de las que sí y de las del grupo control; mientras que las variables correlacionadas con el componente principal 2, es decir las relacionadas a la esterilidad o reproducción, permitieron diferenciar el grupo de plantas control (incluyendo la planta M1 numerada como la planta número 74), del grupo intermedio de plantas M1 (Figuras 54 y 55).

Existe evidencia de la capacidad de generar variabilidad genética en *Coffea arabica* L. a través de la técnica de inducción de mutaciones. Vargas-Segura *et al.* (2019) determinaron la variación genética inducida por dos agentes mutagénicos químicos (azida de sodio y EMS) en semillas de *C. arabica* variedad Catuaí, a través de dos marcadores moleculares (RAPD y AFLP), teniendo éxito en ambos casos y confirmando sus resultados de variaciones morfológicas y reproductiva en condiciones de campo semi controladas.

Por su parte, Bolívar-González *et al.* (2018) estudiaron el efecto de los mismos agentes mutagénicos químicos buscando variabilidad frente a estreses abióticos y emplearon con éxito marcadores RAPD para detectar variación genética en la generación M1 de *Coffea arabica* L variedad Catuaí en condiciones *in vitro*, encontrando polimorfismos de DNA; de similar manera, Gatica-Artica *et al.* (2018), detectaron variabilidad genética a partir del uso marcadores moleculares AFLP en plantas obtenidas de semillas inducidas con los mismos agentes mutagénicos sobre variedades Catuaí, Caturra y CR-50, indicaron además reducción de los caracteres morfológicos.

Por lo mencionado, los resultados obtenidos en campo a través de esta investigación con las diferencias con respecto al control y la variabilidad generada dentro de las plantas mutantes putativas (M1), resulta esperanzador con la búsqueda de confirmar alguna o más mutaciones en evaluaciones futuras mediante fenotipado en campo, así como con el empleo de técnicas moleculares en búsqueda de confirmar la generación variabilidad para caracteres de interés como resistencia frente a la roya del café.

V. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de campo, a las tres años después de trasplante y en las condiciones presentadas durante el período de evaluación de plantas de la generación M1 de *Coffea arabica* L. variedad Típica irradiadas con dosis de 100 Gy de rayos gamma y el control (0 Gy), se concluye lo siguiente:

Existió diferencias en el porcentaje de sobrevivencia en campo entre plantas M1 y control, el que fue menor en plantas irradiadas explicado por efecto de la radiación, condiciones ambientales y tiempo expuesto frente a estas últimas.

Existieron diferencias en las características morfológicas cualitativas entre plantas M1 y plantas control, así como diferencias entre plantas irradiadas. Resaltaron las diferencias somáticas de color de hoja joven y hoja madura, forma de hoja y ápice y ausencia de ramificación secundaria en todas las plantas M1.

Existieron diferencias en las características morfológicas cuantitativas entre plantas M1 y plantas control, así como variabilidad entre plantas irradiadas. Las variables relacionadas al crecimiento como altura de planta, diámetro de tallo, longitud y número de ramas, tamaño de hojas, fueron las variables que más contribuyeron a las diferencias, encontrándose los menores valores promedio en plantas irradiadas.

Existieron diferencias en características relacionadas a la producción de frutos (relacionándose con esterilidad) entre plantas M1 y plantas control, asimismo variabilidad entre plantas irradiadas. En promedio, las plantas irradiadas produjeron menor cantidad de frutos que control y mayor porcentaje de frutos defectuosos, relacionándose a efectos de la radiación en cuanto a esterilidad., donde aproximadamente el 30% de individuos no produjo frutos.

Existieron diferencias en la incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*) entre plantas M1 y control, así como variabilidad de este parámetro entre plantas irradiadas. De forma general, se dieron menores valores de incidencia en plantas M1 con respecto al control y más del 25% del total de estas presentaron menor incidencia que todas las plantas control.

Existieron diferencias en la incidencia de la cercosporiosis del café (*Cercospora coffeicola*) entre plantas M1 y control, así como variabilidad de este parámetro entre plantas irradiadas. De forma general, se dieron mayores valores de incidencia en plantas M1 con respecto al control; no obstante, más del 11% del total de estas presentaron menor incidencia que todas las plantas control y, asimismo, más del 14% con valores mayores que todas las plantas control y al menos una planta M1 no presentó síntomas de la enfermedad.

VI. RECOMENDACIONES

Sembrar inmediatamente las semillas M2 bajo condiciones fitosanitarias y agronómicas adecuadas (sustrato estéril y de granulometría adecuada, desinfestación de semillas, semillero de adecuada profundidad, etc.) y evaluarlas en cuanto a germinación, sobrevivencia, crecimiento, características fisiológicas, morfológicas cualitativas y cuantitativas, comportamiento frente a estreses bióticos, etc., en condiciones de vivero adecuadas y junto a plantas control.

Trasplantar las plantas M2 a campo, bajo condiciones favorables para la producción de la mayor cantidad de semillas (M3), siguiendo un diseño de plantación en función del método de selección posterior a emplear, así como de la situación, limitaciones y recursos presentes, preferentemente aisladas de otras plantas de café y de las plantas control. Evaluar el crecimiento, características morfológicas, fisiológicas, productivas, de resistencia frente a estreses en condiciones de campo como la roya del café (evaluar severidad y determinar área bajo la curva de progreso de la enfermedad) y calidad e iniciar la selección en esta generación.

Seleccionar semillas M3 y continuar con el proceso en esta y las siguientes generaciones para la evaluación y establecimiento de los mutantes con las características de interés.

Incluir técnicas moleculares como enfoque preliminar para la detección de posibles mutantes y características de interés.

Evaluar la dosimetría y seguir con el proceso de inducción de mutaciones con otros genotipos de *Coffea arabica* L.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Able J. & P. Langridge. (2006). Wild sex in the grasses. *Trends in Plant Science* 11: (6): 261-263 p.

Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding* (2° ed.). Hoboken, NJ: Wiley. 740 p.

Ahumada-Flores, S.; Gómez-Pando, L.; Parra, F.; De la Cruz, E.; Sarsu, F.; De los Santos, S. (2021). Technical note: Gamma irradiation induces changes of phenotypic and agronomic traits in wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*). *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 167, 109490. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109490>.

Ali, H.; Ghori, Z.; Sheikh, S. & Gul, A. (2015). Effects of Gamma Radiation on Crop Production. En K. R. Hajeem (Ed.), *Crop Production and Global Environmental Issues* (p. 27-78). Switzerland: Springer International

Alvarado A., G. El café y la roya: Estrategias de resistencia incompleta (2011). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – CENICAFÉ, Chinchiná (Colombia), 98p.

Alvarado, L. (2018). Malezas asociadas al cultivo de café en la Selva Central del Perú. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 93 p.

Alvarado, L.; Borjas, R.; Castro, V.; García, L.; Jiménez, J.; Julca, A.; Gómez, L. (2020). Dynamics of severity of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) on Coffee, in Chanchamayo (Junín-Peru). *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 517-529. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i3.39726>

Alves, A.; Rodrigues, G.; Melo, W.; Botelho, C.; Costa, J.; Baião, A. & Lopes, F. (2010). Cultivares: origem e sus características. En P. Rebelles y R. da Cunha (Eds.), *Café Arábica do plantio à colheita*. Volume 1. (p. 163-222). Lavras, Brasil: EPAMIG

Anthony, F.; Astorga, C. & Berthaud, J. (1999). Los Recursos Genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana. En B. Bertrand y B. Rapidel. *Desafío de la Caficultura em Centroamérica*. (p. 369.406). San José, Costa Rica.

Anthony, F.; Bertrand, B; Quiros, O.; Wilches, A, Lashermes, P.; Berthaud, J. & Charrier, A. (2001) Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. *Euphytica* (118) Recuperado de https://sci-hub.se/https://www.researchgate.net/publication/227150636_Genetic_diversity_of_wild_coffee_Coffea_arabicaL_using_molecular_markers

Arisha, M.; Shah, S.; Gong, Z.; Jing, H.; Li, C.; Zhang, H. (2015). Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annuum* L.). *Front. Plant Sci.* 6:399. doi: 10.3389/fpls.2015.00399

Arisha, M.; Liang, B.; Shah, S.; Gong, Z.; Li., D. (2014). Kill curve analysis and response of first-generation *Capsicum annuum* L. B12 cultivar to ethyl methane sulfonate. *Genet. Mol. Res.* 13, 10049–10061. doi: 10.4238/2014.November.28.9

Avelino, J.; Gagliardi, S.; Perfecto, I.; Issac, M.; Liebig, T.; Verndermeer, J.; Merle, I.; Hajian-Forooshani, Z.; Motidi, N. (2022). Tree effects on coffee leaf rust at field and landscape scales. *Plant Disease*. 10.1094/PDIS-08-21-1804-FE. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-21-1804-FE>

Avendaño-Arrazate, C.; Gómez-Simuta, Y.; Martínez-Bolaños, M.; Méndez-López, I.; Ortíz-Curiel, S.; Oriza-Flores, R.; Canul-Ku, J.; Reyes-López, D. (2021). La radiación gamma de ⁶⁰Co en características morfológicas y reproductivas de plantas M1 en *Coffea arabica* L.: Radiación gamma de ⁶⁰Co en Café. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2730>

Barrenechea, C. (1986). *Café: Problemática y Alternativa*. Centro Peruano de Estudios Sociales. Lima. Perú.

Blas, R.; Echevarría, C.; Crespo, R.; Gutiérrez, L.; Flores, J.; Álvarez, F.; Sánchez, M.; Julca, A.; Cruz, J.; Bello, A.; Borjas, R.; Talaverano, D. (2011). Caracterización del germoplasma peruano del café. Informe del Proyecto: Estudio de la variabilidad genética del café y establecimiento de un banco de germoplasma en la selva central (FINCYT – PIBAP – 2009 – Contrato 029).

Bobadilla, R.; Cenci, A.; Georget, F.; Bertrand, B.; Camayo, G. (2013). High Genetic and Epigenetic Stability in *Coffea arabica* Plants Derived from Embryogenic Suspensions and Secondary Embryogenesis as Revealed by AFLP, MSAP and the Phenotypic Variation Rate. PLOS ONE 8(2): e56372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056372>

Bolívar-González, A., Valdez-Melara, M. & Gatica-Arias, A. Responses of Arabica coffee (*Coffea arabica* L. var. Catuaí) cell suspensions to chemically induced mutagenesis and salinity stress under in vitro culture conditions. In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant 54, 576–589 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9918-x>

Borém, A.; Condori, M. & Vieira, G. (2008). Mejoramiento de Plantas. (4° edición). Viosa, Brasil: Editora UFV.

Borjas-Ventura, R.; Alvarado-Huamán, L.; Castro-Cepero, V.; Rebaza, D., Gómez-Pando, L., Julca-Otiniano, A. (2020), Behavior of Ten Coffee Cultivars against *Hemileia vastatrix* in San Ramón (Chanchamayo, Peru). Agronomy. 10(12):1867. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121867>

Borjas-Ventura, R.; Julca-Otiniano, A.; Alvarado-Huamán, L.. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. Journal of the Selva Andina Biosphere, 8(2), 150-164. Recuperado en 1 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592020000200007&lng=es&tlng=es.

Borzouei, A.; Kafi, M.; Khazaei, H.; Naseriyan, B.; Majdabad, A. (2010). Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings Pakistan J. Bot., 42 (4), pp. 2281-2290

Campbell, C. L., and Madden, L. V. (1990). Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York.

Carvalho, A. (2007). Histórico do desenvolvimento do cultivo do café do Brasil. Campinas, Brasil: Documentos IAC-34. Recuperado de <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacdoc34.pdf>

Cubero, J. (2003). Introducción a la mejora genética vegetal. Madrid, España: . Ediciones Mundi-Prensa S.A.

- Dada, K. E., Anagbogu, C. F., Forster, B. P., Muiyiwa, A. A., Adenuga, O. O., Olaniyi, O. O., & Bado, S. (2018). Biological effect of gamma irradiation on vegetative propagation of *Coffea arabica* L. *African Journal of Plant Science*, 12(6), 122-128. doi:10.5897/AJPS2016.1504
- De Carvalho, V.; Chalfoun, S.; Da Cunha, R. (2010). Manejo de Doenças do Cafeeiro. En P. Rebelles y R. da Cunha (Eds.), *Café Arábica do plantio à colheita*. Volume 1. (p. 689-756). Lavras, Brasil: EPAMIG
- De França, F.; Ventrone, L.; Tixeira, E.; Susumu, N.; Alves, A. & Baiap, A. (2015). *Aspectos gerais da biologia e da diversidade genética de Coffea canephora*. En A. Luiz y M. Curitiba (Eds.). *Café na Amazônia*. (p. 83-98). Porto Velho, Brasil: Embrapa Rondônia.
- Donini, P. & Sonnino, A. (1998). Induced Mutation in Plant Breeding: current status and future outlook. En S. Mohan, D. Brar y B. Ahloowalia (Eds.), *Somaclonal Variation and*
- Do Livramento, D. (2010). Morfologia e Fisiologia do Cafeeiro. En P. Rebelles y R. da Cunha (Eds.), *Café Arábica do plantio à colheita*. Volume 1. (p. 163-222). Lavras, Brasil: EPAMIG
- Donizeti, J. (2008). Morfologia do Cafeeiro. Em C. Siqueira (Ed.), *Cultivares de café: origem, características e recomendações* (p. 35-58). Brasília DF, Brasil: Embrapa café.
- Eskes, AB. (2005). Phenotyping Expression of Resistance to Coffe Leaf Rust and its possible relationship with durability. En: L. Zambolim et al. (Ed.), *Durable resistance to Coffe Leaf Rust* (p. 305 – 332). UFV. Vicososa – MG.
- FAO/OIEA. (2021). Manual de mejoramiento por mutación – Tercera edición. Spencer-Lopes, M.M., Forster, B.P. y Jankuloski, L. (coords.), Viena, FAO. En: <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- Ferreira, T.; Shuler, J.; Guimarães, R & Farah, A. (2019). Introduction to Coffee Plant and Genetics. En A. Farah (Ed.), *Coffee: Production, Quality and Chemistry* (p. 3-25). London, UK: The Royal Society of Chemistry
- Flórez R., C.P.; Arias S., J.C.; Maldonado L., C.E.; Cortina G., H.; Mocada B., M.D.P.; Quiroga C., J.; Molina V., D.M.; García, J.C.; Duque O., H. (2018). Variedades Castillo® zonales, resistencia a la roya con mayor productividad. *Cenicafé*. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 489).

Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

Gatica-Arias, A.; Bolivar-González, A.; Tapia, A.; Vargas-Segura, C. (2018). APPLICATION OF CHEMICALLY INDUCED MUTATIONS USING EMBRYOGENIC CELL SUSPENSIONS AND SEEDS FOR CROP PROTECTION OF COFFEE (*COFFEA ARABICA* L.) VARIETIES IN COSTA RICA. [Resumen]. FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology. Book of Abstracts. Recuperado de: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/009/50009355.pdf?r=1

Gómez-Pando, L. & Eguliz, A. (2013). Developing Genetic Variability of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with Gamma Radiation for Use in Breeding Programas. American Journal of Plant Sciences. 4: 349-355. Recuperado de DOI: 10.4236/ajps.2013.42046

Gómez-Pando, L. (2015). Quinoa Breeding. En K. Murphy y J. Matanguihan, Quinoa. Improvement and Sustainable Production (87-103). Hoboken, USA: Wiley-Blackwell

Guimarães, A.; Rodrigues, G.; Botelho, C.; Fazuoli, L.; Silvarolla, M. (2008). Mutantes de *Coffea arabica* L e Cultivares de Importância Histórica. Em C. Siqueira (Ed.), Cultivares de café: origem, características e recomendações (p. 281-298). Brasília DF, Brasil: Embrapa café.

Guerreiro, O.; Bernadete, M.; Siqueira, C., Fazuoli, L. (2008). Características Utilizadas para a Identificação de Cultivares de Café. Em C. Siqueira (Ed.), Cultivares de café: origem, características e recomendações (p. 141-156). Brasília DF, Brasil: Embrapa café.

Herrera, J. C., & Cortina, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 1, pp. 117–121). Cenicafé; 7. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2019). Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana.

International Coffee Organization. (2019). Coffee Development Report 2019. Growing for prosperity. Economic viability as the catalyst for a sustainable coffee sector. Recuperado de <https://www.internationalcoffeecouncil.org/media/coffeeDevelopmentReport.pdf>

International Plant Genetic Resource Institute. (1996). Descriptores de café (*Coffea spp.* Y *Psilanthus spp.*).

Jankowicz-Cieslak, J.; Mba, C. & Till, B. (2017). Mutagenesis for Crop Breeding and Functional Genomics. En J. Jankowicz-Cieslak, T. Tai, J. Kumlehn y B. Till (Eds.), Biotechnologies for Plant Mutation Breeding. Protocols. International Atomic Energy Agency. Switzerland: Springer Nature.

Julca, A.; Solano, W. & Crespo, R. (2002). Crecimiento de *Coffea arabica* variedad Caturra amarillo en almácigos con sustratos orgánicos en Chanchamayo, selva central del Perú. Investigación Agraria: Prod. Prot. Veg., 17(3): 353-366. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=283644&fbclid=IwAR1YLgPbPZwndeoNNoqxryrKb-wx70fhML2Uak9DoAPmuDRX4nVqTB8wTkw>

Julca, A.; Carhuallanqui, R.; Julca, N.; Bello, S.; Crespo, R.; Echevarría, C.; Borjas, R.; (2010). “Efecto de la sombra y la fertilización sobre las principales plagas del café var. Catimor en Villa Rica (Pasco, Perú)”. UNALM-FDA. Lima. 23 pp

Julca, A.; Borjas, R.; Crespo, R.; Echevarría, C.; Ladera, Y.; Cruz, R.; Bello, S. (2013). Una revisión sobre la roya del café (*Hemileia vastatrix*) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú.

Julca-Otiniano, A., Alarcón-Águila, G., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., & Castro-Cepero, V. (2018). COMPORTAMIENTO DE TRES CULTIVARES DE CAFÉ (CATIMOR, COLOMBIA Y COSTA RICA 95) EN EL VALLE DE EL PERENÉ, JUNÍN, PERÚ. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 34(3), 205-215. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504>

Julca, A.; Borjas, R.; Alvarado, L.; Julca, N.; Catro, V.; Bello, S. (2019). RELACIÓN ENTRE LA INCIDENCIA Y LA SEVERIDAD DE LA ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia vastatrix*) EN SAN RAMÓN, CHANCHAMAYO, PERÚ. Recuperado de <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>

Julca, A.; Alvarado, L.; Borjas, R.; Catro v.; Apaza, A.; Maldonado, C.; Vértiz, R.; Bello, S.; Jiménez, D. (2019). Caracterización Agronomía de las accesiones del Banco de Germoplasma de Café en San Ramón, Chanchamayo, Perú. FDA – UNALM.

Julca-Otiniano, A.; Borjas-Ventura, R.; Alvarado-Huaman- L: (2020). EFFICIENT SCREENING TECHNIQUES TO IDENTIFY MUTANTS WITH DISEASES RESISTANT FOR COFFE AND BANANA (CRP code: -D22005). UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (UNALM). IAEA.

Klug, W.; Cummings, M. & Spencer, C. (2006). Conceptos de Genética (8° ed.). Madrid, España: Pearson Prentice Hall

León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. (3° edición). San José, Costa Rica.

López-Gamboa, E. (2018). Crecimiento, evaluación morfológica y de la susceptibilidad a la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en una población de plantas M1 de café (*Coffea arabica* L.) tratadas con el agente mutagénico Azida de Sodio en Turrialba, Costa Rica. Tesis (Ing. Agrónomo). Universidad de Costa Rica, Turrialba (Costa Rica). 80 p.

López, J.; Marín, G.; Gaitán, A.; Ángel, C. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Avances Técnicos N°498. Manizales.

Mba, D. (2013). Induced Mutations Unleash the Potentials of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Agronomy* 3: 200-231

Madigan, P.; Bodemann, O.; Brady, C.; Dewar, J.; Keller, J.; Leitges, M.; Philips, R.; Ridley, J.; Der, J. & Cox, D. (2009). Regulation of Rnd3 localization and function by protein kinase C α -mediated phosphor-rylation. *Biochemical Journal* 424(1): 153-161.

Madden, L.V., Hughes, G. and Van Den Bosch, F. (2007). *The Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press, St. Paul.

Maluszynski, M.; Szarejko, I.; Bhatia, C.; Nichterlein, K. & Lagoda, P. (2009). Methodologies for generating variability. Part 4: Mutation techniques. En: Ceccarelli, S.; Guimarães, E.; Weltzien, E. *Plant breeding and Farmer participation*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, Italy.

Martins, A. (2008). História do café. São Paulo, Brasil: Editora Contexto. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?hl=en&lr=&id=_s5nAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=info:AxYtpxiMUpgJ:scholar.google.com&ots=VAdV7dFNhn&sig=CUCO414_PDduWA2HETunvP6G_JU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Martins, R.; Maffia, L.; Mizubuti, E. (2008). Genetic Variability of *Cercospora coffeicola* from Organic and Conventional Coffee Plantings, Characterized by Vegetative Compatibility. *Phytopathology*, 98 (11). p. 1025-10211. En: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-21-1072-PDN>

Mayta, M. (2016). Dosimetría de rayos gamma para la inducción de mutación en Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Mejoramiento Genético de Plantas. EGP-UNALM. Lima, Perú.

Medina, H.; Bordignon, R.; Siqueira, C. (2008). Desenvolvimento de Novas cultivares de Café Arábica. Em C. Siqueira (Ed.), Cultivares de café: origem, características e recomendações (p. 79-102). Brasilia DF, Brasil: Embrapa café.

Ministerio de Agricultura y Riego (junio, 2019a). Requerimientos agroclimáticos del cultivo de café – Ficha técnica N°11. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/237>

Ministerio de Agricultura y Riego (octubre, 2019b). Sistematización de la experiencia de los subproyectos de café. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/605>

Ministerio de Agricultura y Riego (julio, 2020). Observatorio de Commodities: Café 2020. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/758>

Mukhtar, A.; Spencer-Lopes, M. & Thomas, W. (2018). Mutation Breeding in Seed Propagated Crops: Parental Selection, Mutant Generation Development, Mutation Detection, Mutant Evaluation and Factors influencing success. En M. Spencer-Lopes y L. Jankuloski (Eds.), Manual on Mutation Breeding (3th ed.) (p. 119-156). Vienna, Austria: FAO/IAEA

Mukhtar, A.; Spencer-Lopes, M. & Thomas, W. (2021). Mutation Breeding in Seed Propagated Crops: Parental Selection, Mutant Generation Development, Mutation Detection, Mutant Evaluation and Factors influencing success. En M. Spencer-Lopes y L.

Jankuloski (Eds.), Manual on Mutation Breeding (3th ed.) (p. 119-156). Vienna, Austria: FAO/IAEA

Niks, RE.; Parlevliet, JE.; Lindhout, P.; Bai, Y. (2011). Breeding crops with resistance to diseases and pests. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. 198 p.

Novak, F. & Brunner, H. (1992). Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos. OIEA

Ojeda, W.; Borjas, R.; Alvarado, L.; Castro, V. & Julca, A. (2019). Efecto en vivero de extractos foliares de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* sobre café var. Caturra Roja en Chanchamayo (Perú). Bosques Latitud Cero 9(2), 29-37.

Organismo Internacional de Energía Atómica. Inducción de Mutaciones. Recuperado de <https://www.iaea.org/es/temas/induccin-de-mutaciones>

Orozco, G.; Muñoz, H.; Rueda, A.; Sígala, J.; Prieto, J. & García, J. (2010). Diagnóstico de calidad de planta en los viveros forestales del estadio de Colima. Mélixo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 1(2) 134-145

Oliva V. & Vidal J. (2006). Genoma humano: nuevos avances en investigación, diagnóstico y tratamiento. Barcelona, España: Ediciones Universitat Barcelona.

Ortiz, R. (2015). Plant Breeding in the Omics Era. Switzerland: Springer International Publishing.

Palomino, C.; López, C.; Espejo, R.; Mansilla, R. & Quispe, J. (2014). Evaluación de la diversidad genética del café (*Coffea arabica* L.) en Villa Rica (Perú). Ecología Aplicada 13(2), 129-234.

Poehlman, J. & Allen, D. (2003). Mejoramiento genético de las cosechas (2° ed.). Mexico: Editorial Limusa.

Priyadarshan, P. (2019). Induced Mutation and Polyploidy Breeding. En P. Priyadarshan (Ed.), Plant Breeding: Classical to Modern (p. 329-370). Singapur, Singapur: Springer Nature

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017). Línea base del sector café en el Perú. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/pncafe-publicaciones/20118-linea-de-base-del-sector-cafe-en-el-peru>

Quintana, V.; Alvarado, L.; Saravia, D.; Borjas, R.; Castro, V.; Julca, A. & Gómez, L. (2019). Gamma radiosensitivity of coffee (*Coffea arabica* L. var Típica) Peruvian Journal of Agronomy 3(2), 47-80.

Ramírez-Camejo, L.; Eamvijarn, A.; Díaz-Valderrama, J.; Karlsen-Ayala, E.; Dr. Koch, R.; Johnson, E.; Pruvot-Woehl, S.; Mejía, L.; Montagnon, C.; Maldonado-Fuentes, C.; Aime, C. (2021). Global analysis of *Hemileia vastatrix* populations shows clonal reproduction for the coffee leaf rust pathogen throughout most of its range. Phytopathology, 06(021). En: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-21-0255-R>

Ramos, JB.; Resende, MLV.; Botelho, DM.; Pereira, RCM.; Reichel T. (2022). Screening coffee genotypes for brown eye spot resistance in Brazil. PLOS ONE 17(1): e0258822. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258822>

Riveiro do Vale, FX.; de Jesús-Júnior, WC.; Zambolim, L. (2004). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Perffil Editora. Belo Horizonte- MG. Brasil. 532 p.

Riviello-Flores, M.; Cadena-Iñiguez, J.; Ruiz-Posadas, L.; Arévalo-Galarza, M.; Castillo-Juárez, I.; Soto, M.; Castillo-Martínez, C. (2022). Use of Gamma Radiation for the Genetic Improvement of Underutilized Plant Varieties. Plants, 11(9), 1161. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/plants11091161>

Rodrigues, CJ.; Bettencourt, AJ.; Rijo, L. (1975). Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. Annual Review of Phytopathology, 13(1), 49–70. doi:10.1146/annurev.py.13.090175

Rodrigues, F.; Masako, B.; Luiz, F. (2010). Resistência de plantas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos à cercosporiose. v. 69, n. 4. pp. 883-890. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400014>.

Rodríguez, D. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. México D.F., México: Ed. Mundi Prensa.

Samayoa, J. y Sánchez, V. 2000. Enfermedades foliares en café orgánico y convencional. Manejo Integrado de Plagas 58:9-19.

Siddique, M.; Back, S.; Lee, J.; Jo, J.; Jang, S.; Han, K.; Venkatesh, J.; Kwon, J. K.; Jo, Y. D. & Kang, B. (2020). Development and Characterization of an Ethyl Methane Sulfonate

(EMS) Induced Mutant Population in *Capsicum annum* L. *Plants* (Basel, Switzerland), 9(3), 396. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/plants9030396>

Silva-Acuña, R., Maffia, L. A., Zambolim, L., and Berger, R. D. 1999. Incidence-severity relationships in the pathosystem *Coffea arabica*–*Hemileia vastatrix*. *Plant Dis.* 83:186-188.

Silva, C.; Julca-Otiniano, A.; Alvarado, L.; Castro-Cepero, V.; Borjas-Ventura, R.; Gómez-Pando, L.; Pereira, A.; Nielen, S.; Ingelbrecht, I.; Várzea, V. (2020). Survey of *Hemileia vastatrix* races from Peru to identify potential coffee mitants with disease resistance. Conference Paper. 28th Association for the Science and Information Coffee.

Silva, M. do C.; Guerra-Guimarães, L.; Diniz, I.; Loureiro, A.; Azinheira, H.; Pereira, AP.; Tavares, S. (2022). An Overview of the Mechanisms Involved in Coffee-Hemileia vastatrix Interactions: Plant and Pathogen Perspectives. *Agronomy*, 12(2), 326. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12020326>

Spinoso-Castillo, J. L., Escamilla-Prado, E., Aguilar-Rincón, V. H., Morales-Ramos, V., García-de los Santos, G., & Corona-Torres, T. (2021). Physiological response of seeds of three coffee varieties to gamma rays (60Co). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(2), 101-112. doi: 10.5154/r.rchsh.2020.07.019

Suprasanna, P.; Mirajkar, S.; Bhagwat, S. 2015. Induced Mutations and Crop Improvement. In: Bahadur B.; Venkat Rajam M.; Sahijram L.; Krishnamurthy K. (eds) *Plant Biology and Biotechnology*. India. p 593 – 617.

Segura-Escobar. (2017). Efectos de la sombra de cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en el cultivo del café (*Coffea arabica*) sobre los procesos de esporulación, dispersión a través del agua y deposición de *Hemileia vastatrix*, en Turrialba, Costa Rica. Tesis (Maestría). CATIE, Turrialba (Costa Rica). 64 p.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. (2017). *Fisiología e Desenvolvimento Vegetal*. (6° ed.). Porto Alegre, Brazil: ARTMED.

Tardieu, F.; Cabrera-Bosquet, L.; Pridmore, T. & Bennet, M. (2017). Plant Phenomics from sensors to knowledge. *Current Biology* 27(15): 770-783.

Thomas, W. (2012). History of Plant Breeding. En G. Acquaah (Ed.), *Principles of Plant Genetics and Breeding* (2° ed.) (p. 22-40). Hoboken, NJ: Willey.

Toral, M. (1997). Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico. Jalisco, México: Programa de Desarrollo Forestal-SEDER.

United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. (mayo, 2020). Coffee Annual Report. Recuperado de: https://juntadelcafe.org.pe/wp-content/uploads/2020/05/Coffee-Annual_Lima_Peru_05-15-2020.pdf

United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service. (2020). The PLANTS Database (<https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=COFFE>, September 2020). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.

Vargas-Segura, C., López-Gamboa, E., Araya-Valverde, E., Valdez-Melara, M., & Gatica-Arias, A. (2019). Sensitivity of Seeds to Chemical Mutagens, Detection of DNA Polymorphisms and Agro-Metrical Traits in M1 Generation of Coffee (*Coffea arabica* L.). doi: 10.1007/S12892-019-0175-0

Vale, P.A.S., de Resende, M.L.V., dos Santos Botelho, D.M. (2021). Epitypification of *Cercospora coffeicola* and its involvement with two different symptoms on coffee leaves in Brazil. *Eur J Plant Pathol* 159, 399–408. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02170-y>

World Coffee Research. (2019). Guía de buenas prácticas en el manejo de vivero de café. Recuperado de https://worldcoffeeresearch.org/documents/83/Guia_2_Viveros_web.pdf

Waugh, R; Leader, D., Mccallum, N. & Caldwell, D. (2006). Harvesting the potential of induced biological diversity. *Trends in Plant Science* 11: (2): 71-79 pp.

Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. S., Kim, J. H., Baek, M. H., Lee, J. W., & Kim, Y. S. (2007). Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron* (Oxford, England: 1993), 38(6), 553–564. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2006.11.002>

Wintgens, J. (2004). *Coffe: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers*. Weinheim, Germany. WILEY-VCH. 978 p.

Zambolim, L.; Vale, F.; Zambolim, E. (2005). Doenças do Cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). En: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, JAM.; Bergamin-Filho, A.; Camargo, LEA. (Eds.). *Manual de Fitopatologia. Volume 2. Doenças das plantas cultivadas*.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Variables morfológicas cualitativas del comportamiento de plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

Nº	Forma de estípula	Forma de hoja	Forma de ápice	Color de hoja joven	Color de hoja madura	Presencia de rama secundaria	Presencia de Fruto	Color de Fruto	Forma de Fruto
1	2	4	4	5	2	1	1	5	1
2	2	5	4	5	2	1	0	-	-
3	3	2	5	5	2	0	1	5	1
4	4	3	4	5	2	0	0	-	-
5	2	4	4	5	2	0	0	-	-
6	3	4	4	5	1	0	0	-	-
7	3	5	5	5	2	0	1	5	1
8	2	3	4	5	2	1	1	5	1
9	3	4	4	5	1	0	0	-	-
10	3	4	4	2	1	0	0	-	-
11	3	5	4	5	2	0	1	5	1
12	3	4	4	6	2	0	1	5	1
13	3	4	4	5	2	0	0	-	-
14	3	4	4	5	2	0	1	5	1
15	2	4	4	2	2	0	0	-	-
16	2	5	5	5	2	0	0	-	-
17	2	5	5	5	2	0	1	5	1
18	3	5	4	1	2	0	0	-	-
19	3	5	5	6	2	1	1	5	1
20	2	5	4	6	2	0	1	5	1
21	4	5	4	2	2	0	1	5	1
22	2	1	3	5	2	0	0	-	-
23	3	4	4	5	2	0	0	-	-
24	3	5	4	5	2	0	1	5	1
25	2	5	4	4	2	0	0	-	-
26	3	5	4	5	2	0	1	5	1
27	3	5	5	5	2	0	0	-	-
28	3	5	4	5	2	0	0	-	-
29	2	5	5	5	2	0	1	5	1
30	2	5	4	5	2	0	1	5	1
31	2	5	4	5	2	0	1	5	1
32	2	5	4	5	2	0	0	-	-
33	4	1	5	5	2	0	0	-	-
34	4	5	4	5	2	0	1	5	1
35	2	5	4	5	2	0	0	-	-
36	4	5	7	5	2	0	1	5	1
37	4	5	7	4	2	0	1	5	1
38	4	1	5	6	1	0	0	-	-
39	4	5	4	5	2	0	0	-	-
40	4	5	4	5	2	0	0	-	-
41	2	5	7	5	2	0	0	-	-
42	2	5	4	5	2	0	0	-	-
43	2	1	5	2	2	0	0	-	-
44	2	5	4	5	2	0	0	-	-
45	2	5	7	5	2	0	1	5	1
46	4	5	7	5	2	0	1	5	1
47	4	5	7	5	2	0	1	5	1
48	4	5	4	5	2	0	1	5	1
49	4	5	7	2	2	0	1	5	1
50	4	5	7	5	2	0	1	5	1
51	2	5	4	5	2	0	1	5	1
52	2	5	4	5	2	1	1	5	1
53	3	3	4	5	2	0	1	5	1
54	4	5	4	5	2	0	1	5	1
55	4	5	4	5	1	1	1	5	1

56	2	5	4	5	2	0	1	5	1
57	3	5	4	5	2	0	1	5	1
58	2	5	7	5	2	0	1	5	1
59	2	5	4	5	2	0	0	-	-
60	2	5	4	5	1	1	1	5	1
61	2	5	7	5	2	1	1	5	1
62	2	5	4	5	2	0	1	5	1
63	4	5	5	5	2	0	1	5	1
64	2	5	4	5	2	0	0	-	-
65	2	5	4	5	2	1	1	5	1
66	2	5	4	5	2	1	0	-	-
67	2	5	4	5	2	0	1	5	1
68	2	5	7	5	2	0	1	5	1
69	2	3	5	5	2	0	0	-	-
70	2	1	5	5	2	0	0	-	-
71	2	5	7	5	2	0	0	-	-
72	2	5	4	5	2	0	1	5	1
73	3	5	7	5	2	0	1	5	1
74	4	5	4	5	2	0	1	5	1
75	2	5	4	5	2	0	1	5	1
76	2	5	4	5	2	0	1	5	1
77	2	1	4	5	2	0	1	5	1
78	2	1	4	5	2	0	1	5	1
79	2	3	5	5	2	1	1	5	1
80	2	5	7	5	2	1	1	5	1
81	2	5	4	5	2	0	1	5	1
82	2	5	4	5	2	0	1	5	1
83	2	5	4	1	1	0	0	-	-
84	2	5	4	5	2	0	1	5	1
85	2	5	4	5	2	0	1	5	1
86	2	5	4	5	2	0	1	5	1
87	2	5	4	5	2	0	1	5	1
88	2	5	4	5	2	0	1	5	1
89	2	5	7	5	2	0	1	5	1
90	2	5	4	5	2	0	1	5	1
91	2	5	4	5	2	0	1	5	1
92	2	5	4	5	2	0	1	5	1
93	2	5	4	5	2	0	1	5	1
94	2	5	7	5	2	0	1	5	1
95	2	5	4	5	2	0	1	5	1
96	2	5	4	5	1	0	0	-	-
97	2	5	4	5	2	0	1	5	1
98	2	5	4	4	2	0	1	5	1
99	2	5	4	5	2	0	0	-	-
100	2	5	7	5	1	0	0	-	-
101	2	5	4	5	2	0	1	5	1
102	2	5	4	5	2	1	1	5	1
103	2	5	4	5	2	1	1	5	1
104	2	5	4	5	2	0	1	5	1
105	4	5	4	5	2	0	1	5	1
106	2	5	4	5	2	0	1	5	1
107	2	5	4	5	2	0	1	5	1
108	2	5	4	5	2	1	1	5	1
109	2	5	4	5	2	1	1	5	1
110	2	5	4	5	2	0	1	5	1
111	2	5	4	5	2	0	1	5	1
112	2	5	4	5	2	0	1	5	1
113	2	5	4	5	2	0	1	5	1
114	2	5	4	4	2	1	1	5	1
115	2	5	4	5	2	0	1	5	1

Anexo 2: Variables morfológicas cualitativas del comportamiento de plantas control (0 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	Forma de estípula	Forma de hoja	Forma de ápice	Color de hoja joven	Color de hoja madura	Presencia de rama secundaria	Presencia de Fruto	Color de Fruto	Forma de Fruto
116	2	5	4	5	2	1	1	5	1
117	2	5	4	5	2	1	1	5	1
118	2	5	4	5	2	1	1	5	1
119	2	5	4	5	2	1	1	5	1
120	2	5	4	5	2	1	1	5	1
121	2	5	4	5	2	1	1	5	1
122	2	5	4	5	2	1	1	5	1
123	2	5	4	5	2	1	1	5	1
124	2	5	4	5	2	1	1	5	1
125	2	5	4	5	2	1	1	5	1

Anexo 3: Variables morfológicas cuantitativas del comportamiento de plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	Altura				Diámetro				IE				N° ramas/planta			
	cm				mm				Altura / Diámetro				-			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	162	169.5	171	22.5	20	20.5	21.5	22.5	8.100	8.268	7.953	7.689	14	18	22	25
2	100	105.4	109	14	12	12.3	12.5	14	8.333	8.569	8.720	8.214	20	21	22	21
3	92	98.4	99	17	13	15.15	15.5	17	7.077	6.495	6.387	5.882	15	14	15	17
4	138	143.3	152	18	15	17	17.2	18	9.200	8.429	8.837	8.989	13	16	18	22
5	86	92	93	11	9	10.1	10.4	11	9.556	9.109	8.942	8.818	3	7	7	8
6	74	79	80	10	10	10	10	10	7.400	7.900	8.000	8.200	2	9	7	7
7	150	150.2	150.2	22	17	19	20	22	8.824	7.905	7.510	6.886	18	20	20	20
8	159	167	202.5	28.9	25	26.2	26.2	28.9	6.360	6.374	7.729	7.415	20	22	22	35
9	113	127.8	129	17.3	16	16.6	17	17.3	7.063	7.699	7.588	7.572	14	18	18	18
10	139	139	139.6	16.35	15	16	16.1	16.35	9.267	8.688	8.671	8.575	14	15	14	15
11	110	112	112	15	11	12.6	14	15	10.000	8.889	8.000	7.533	13	15	13	13
12	126	130	137	16.3	13	14.4	15	16.3	9.692	9.028	9.133	8.497	14	15	16	16
13	102	111.5	112	13.5	12	12.8	13.2	13.5	8.500	8.711	8.485	8.444	16	13	13	15
14	122	124.5	128.8	16	14	15	15	16	8.714	8.300	8.587	8.281	13	14	16	16
15	82	91	91.3	9.5	8	9.1	9.1	9.5	10.250	10.000	10.033	9.684	10	11	11	11
16	92	93.1	97	11.1	9	10	10.5	11.1	10.222	9.310	9.238	8.991	9	10	12	14
17	129	130	132	18.5	17	17.7	18	18.5	7.588	7.345	7.333	8.000	12	12	12	13
18	134	119.8	120	11.2	10	11	11.1	11.2	13.400	10.891	10.811	10.86	7	3	3	4
19	203	214	217.5	23.1	20	21	23	23.1	10.150	10.190	9.457	9.524	27	30	32	30
20	94	103.8	109	14	12	13.1	13.1	14	7.833	7.924	8.321	7.857	13	14	14	11
21	99	100.2	104	16	15	15.5	15.5	16	6.600	6.465	6.710	6.875	13	13	13	16
22	86	86.5	90	11	9	10	10	11	9.556	8.650	9.000	8.364	6	5	7	6
23	93	94	94	12.3	9.5	10	11	12.3	9.789	9.400	8.545	8.130	9	8	8	10
24	108	113	114.1	14.5	13	13	13	14.5	8.308	8.692	8.777	8.000	12	13	13	14
25	74	74	74	10	9	10	10	10	8.222	7.400	7.400	7.400	7	7	7	7
26	119	119	121	18.1	16	18	18	18.1	7.438	6.611	6.722	6.740	13	11	11	11
27	113	120	123	14	12	12	12	14	9.417	10.000	10.250	8.857	10	10	14	14
28	106	112	114.5	14.5	13	13.5	13.5	14.5	8.154	8.296	8.481	8.448	9	11	12	12
29	141	149	150	20	16	17	18	20	8.813	8.765	8.333	8.050	16	19	20	21
30	146	146.5	159	22	20	20.5	20.5	22	7.300	7.146	7.756	7.432	13	15	16	18
31	145	157	169.8	20.05	17	18	19	20.05	8.529	8.722	8.937	8.628	20	23	27	26
32	99	103	103.3	14.05	13	14	14	14.05	7.615	7.357	7.379	7.402	11	12	12	8
33	86	89	89	11.2	9	11	11.1	11.2	9.556	8.091	8.018	7.991	17	13	12	13
34	96	99	104	17	11	17	17	17	8.727	5.824	6.118	6.235	15	15	14	14
35	103	103	106	13.5	12	17	13.3	13.5	8.583	6.059	7.970	8.170	13	11	10	10
36	111	117	123	15.8	11	12	14	15.8	10.091	9.750	8.786	8.006	11	11	15	15
37	123	126.5	128.3	19.5	16	17	17	19.5	7.688	7.441	7.547	6.897	18	18	18	19
38	82	84	86.5	9.8	9	9	9.2	9.8	9.111	9.333	9.402	8.827	12	12	11	10
39	144	155	163	17	17	17	17	17	8.471	9.118	9.588	9.588	18	23	26	24
40	110	117	119	16.1	14	15	15.1	16.1	7.857	7.800	7.881	7.578	16	16	18	22
41	103	103	103	13.9	12	13	13.5	13.9	8.583	7.923	7.630	9.281	14	13	15	16
42	105	72	73	10.4	9	9.5	10	10.4	11.667	7.579	7.300	7.356	6	6	6	6
43	68	71	72.5	9	7	8	9	9	9.714	8.875	8.056	8.556	5	5	5	5
44	108	109	109.5	13	12	13	13	13	9.000	8.385	8.423	8.462	8	8	7	7
45	159	163	170.5	19	15	16	19	19	10.600	10.188	8.974	9.211	19	22	22	23
46	159	165	166	21.85	19	19	21	21.85	8.368	8.684	7.905	7.735	19	23	21	20
47	142	142	142	16.1	15	15	15.5	16.1	9.467	9.467	9.161	8.832	12	14	14	14
48	112	124	125.6	16.5	13	14.5	16	16.5	8.615	8.552	7.850	8.000	12	14	16	18
49	149	150	150.5	18.8	16	17.5	17.5	18.8	9.313	8.571	8.600	8.032	19	18	20	17
50	150	156	170.5	19	16	17.5	18.2	19	9.375	8.914	9.368	9.658	21	24	28	29
51	148	151	153	19	17	18	19	19	8.706	8.389	8.053	8.737	18	20	20	22
52	210	214	217	35	32	32	34	35	6.563	6.688	6.382	6.314	24	24	28	30
53	113	114	115.5	15.2	13	14	15	15.2	8.692	8.143	7.700	7.697	14	14	14	14
54	166	172	176	25	22	25	25	25	7.545	6.880	7.040	7.080	20	26	25	25
55	168	169	169.5	18.35	16	17.5	18.3	18.35	10.500	9.657	9.262	9.264	25	27	27	27

56	98	101	110	13.8	12	13	13	13.8	8.167	7.769	8.462	8.116	9	9	10	10
57	178	183	183	21.5	20	20.9	20.9	21.5	8.900	46.923	46.923	8.791	28	30	29	30
58	107	109	109	17	16	16	17	17	6.688	6.813	6.412	6.412	14	14	14	14
59	120	120	120	15	13	13.5	13.5	15	9.231	8.889	8.889	8.200	6	6	6	6
60	155	156	161	17.15	16	17	17	17.15	9.688	9.176	9.471	9.942	21	21	21	25
61	216	221	232.5	30	27	27.5	27.5	30	8.000	8.036	8.455	7.767	28	32	35	35
62	173	174	184	20.1	18	18.5	19	20.1	9.611	9.405	9.684	9.478	23	23	24	25
63	121	123	123	19.1	17	18	18.4	19.1	7.118	6.833	6.685	6.754	33	33	33	36
64	98	102	102.5	15	13.5	14.5	14.5	15	7.259	7.034	7.069	7.133	9	10	10	12
65	131	133	140	18	15	16.5	18	18	8.733	8.061	7.778	7.806	11	10	11	12
66	150	153.5	157.3	22.3	19	20.5	21.1	22.3	7.895	7.488	7.455	7.332	27	29	31	31
67	193	200	206	23.5	19	22	22	23.5	10.158	9.091	9.364	9.277	45	48	46	49
68	149	158	164.5	22.85	21	21	22	22.85	7.095	7.524	7.477	7.300	17	18	20	20
69	132	137	144	16	13	14.2	15.2	16	10.154	9.648	9.474	9.031	15	15	19	19
70	103	104	104	13	11	11.5	12	13	9.364	9.043	8.667	8.231	11	10	10	11
71	93	94.5	96	12.5	9	11	11.5	12.5	10.333	8.591	8.348	7.680	10	9	8	10
72	102	103	104	14	12	12	14	14	0.000	8.583	7.429	7.500	13	13	13	14
73	174	177	181.5	20	18.5	19	19	20	9.405	9.316	9.553	9.175	17	17	19	17
74	267	268	269	27.1	26	27	27.1	27.1	10.269	9.926	9.926	9.974	45	51	52	48
75	141	139	140	18.05	16	18	18.05	18.05	8.813	7.722	7.756	7.756	14	15	16	15
76	238	238	196	25.3	24	25.2	25.3	25.3	9.917	9.444	7.747	7.747	26	17	17	17
77	158	159	159.7	22	19	20	20	22	8.316	7.950	7.985	7.341	20	20	24	31
78	154	161.5	163	27	24	26	27	27	6.417	6.212	6.037	6.056	34	36	36	37
79	137	137.5	137.8	22.3	19	21	21.5	22.3	7.211	6.548	6.409	6.188	31	31	31	31
80	150	151	152	21	20.5	20.7	21	21	7.317	7.295	7.238	7.310	17	19	19	19
81	178	179.5	180.1	21.3	20.5	20.6	20.65	21.3	8.683	8.714	8.722	8.404	21	21	20	20
82	140	144.5	145	17.25	16	16	16.5	17.25	8.750	9.031	8.788	8.493	15	16	18	18
83	135	136	139.5	13.85	12	13	13.3	13.85	11.250	10.462	10.489	10.36	13	13	13	13
84	160	162	167.8	25	22	24.8	25	25	7.273	6.532	0.712	7.280	26	29	29	33
85	126	135	140	22	17	18.5	20	22	7.412	7.297	7.000	6.445	21	21	28	25
86	156	158	163	21.1	20.5	21	21	21.1	7.610	7.524	7.762	7.725	21	22	20	22
87	102	103	109	15.5	13.5	14	14.3	15.5	7.556	7.357	7.622	7.548	15	15	15	17
88	157	158	160	20.15	19	19.2	19.5	20.15	8.263	8.229	8.205	8.139	21	25	25	22
89	140	148.5	148.5	24	19.1	20.95	23	24	7.330	37.595	6.457	6.417	21	25	24	21
90	122	123.5	134	17.6	15.5	16	16.8	17.6	7.871	7.719	7.976	7.813	17	17	19	18
91	155	157	161	23.3	22	23	23.1	23.3	7.045	6.826	6.970	7.017	22	22	23	23
92	182	188	188	23	21	22	22.9	23	8.667	8.545	8.210	8.370	27	26	26	26
93	210	211.5	215	25.8	24.5	24.5	24.7	25.8	8.571	8.633	8.704	8.295	33	32	32	30
94	101	102.5	190	21	18	18.2	20	21	5.611	5.632	9.500	9.167	21	21	22	21
95	182	183.8	183.8	23	19.7	20	21	23	9.239	9.190	8.752	8.152	22	22	21	21
96	107	107	110.5	13.5	13	13	13.3	13.5	0.131	8.231	8.308	8.185	13	12	12	12
97	154	154	162	19.1	17	18	18.5	19.1	9.059	8.556	8.757	8.639	21	18	16	16
98	173	175.8	175.9	21.95	19.5	21.5	21.5	21.95	8.872	8.177	8.181	7.945	27	29	29	26
99	94	96.5	99	11.4	10.8	11.2	11.35	11.4	8.704	8.616	8.722	8.579	9	9	9	6
100	75.5	78.5	80	11	9.5	11	11	11	7.947	7.136	7.273	7.364	15	15	12	4
101	101	105	105	13	10.5	11.2	11.6	13	9.619	9.375	9.052	8.692	11	13	13	10
102	144	146	150	18.6	17	18.1	18.3	18.6	8.471	8.066	8.197	7.473	19	19	20	17
103	170.5	172	176	22.25	20.2	20.5	21	22.25	8.441	8.390	8.381	8.225	27	23	23	24
104	139	140.5	142	19.9	17.5	19	19.5	19.9	7.943	7.395	7.282	7.337	20	20	19	15
105	109	112.3	119.5	16.4	14.2	15	15	16.4	7.676	7.487	7.967	7.500	18	21	21	21
106	178.5	181	182	22.3	20.7	21.8	22	22.3	8.623	8.303	8.273	8.229	26	31	29	29
107	125	128.8	131	16.1	14.8	14.9	15.1	16.1	8.446	8.644	8.675	8.696	16	16	14	13
108	159	160.9	161.6	21.1	19.2	20	20.1	21.1	8.281	8.045	8.040	7.701	26	26	22	19
109	176	177.2	177.9	24.8	22.5	23.7	23.82	24.8	7.822	7.477	7.469	7.218	28	27	26	25
110	181	190	191.5	27.2	25	26	26.5	27.2	7.240	7.308	7.226	7.096	22	25	24	25
111	121.5	124.5	133	19	15.5	17.2	18	19	7.839	7.238	7.389	7.063	21	21	19	16
112	147	147.6	148.1	18.1	13.6	13.6	17.5	18.1	10.809	10.853	8.463	8.729	17	15	17	10
113	131.5	133.7	135	17.1	15.5	16	16.6	17.1	8.484	8.356	8.133	8.012	14	14	14	10
114	164	168	169.3	21.8	20.5	20.9	21.5	21.8	8.000	8.038	7.874	7.876	25	28	27	26
115	159.5	168.5	177	23.15	20	21.8	22.15	23.15	7.975	7.729	7.991	7.775	19	23	25	26

N°	Long. Ramas				N° nudos				Long. Entrenudo				Long. de Hoja	Ancho de Hoja
	cm				-				cm				cm	cm
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	-	-
1	62	54.5	54.5	55	7	11	11	11	6.1	6.6	6.6	6.6	15	5.5
2	32	33.4	34.4	35.8	6	9	9	9	5.8	6	6	6.4	13.5	5.5
3	35	26.5	26.5	26.65	5	7	7	7	3.1	3.3	3.3	3.6	11	4.5
4	56	58.9	60.5	61.2	11	12	13	13	8.8	9	9	9	15	5.375
5	25	29.5	30	31	5	8	8	8	3.4	3.45	3.45	3.45	15	5.25
6	32	35.5	35.7	35.7	9	13	14	14	5	5	5	7	11	3.9
7	62	64	64	64.2	11	12	12	12	7.6	7.6	7.75	7.75	14.3	5.5
8	61	71.2	77.5	78.5	10	12	14	14	7.8	7.9	7.95	8.35	15	5.56
9	32	32.5	33	33.3	6	7	7	7	4.5	4.6	4.6	4.6	14.25	4.9
10	46	46.7	46.8	47	9	11	11	11	7.3	7.4	7.4	7.4	10.8	4.1
11	49	53	53	53.2	11	13	13	13	8.1	8.1	8.1	8.1	11.8	4.7
12	52	52	53	53.5	9	11	11	11	8.6	8.6	8.6	8.6	13.3	4.7
13	39.5	41.8	43.5	44	7	9	9	9	5.6	5.6	5.6	5.65	13.3	6.8
14	42.5	46	46	46.9	7	9	9	10	7.4	7.5	7.5	7.55	14	4.75
15	38	38.5	38.5	38.8	8	10	10	10	6.8	6.83	6.9	6.9	13.6	3.3
16	30	30.5	30.5	31	6	8	8	8	6	6	6	6	11.83	4.86
17	53	55.2	56	64.5	7	8	9	10	5.4	5.7	5.7	5.75	15.83	5.9
18	28	34.7	37.6	37.9	5	7	7	7	6.3	6.3	6.5	6.5	14	5.2
19	74.5	75.1	77.2	77.5	13	14	15	15	9.4	9.45	9.48	9.48	14.83	5.7
20	29	40	41	41	5	8	8	8	6.6	6.75	6.8	6.8	14.66	5.53
21	41	41.6	42	42.5	13	14	14	14	4.5	4.5	4.6	4.6	13	4.33
22	21	21	21	21.3	5	6	6	7	3.5	3.5	3.5	3.5	13.33	3.83
23	30	34	34.2	37.5	6	7	7	8	4.1	4.3	4.3	4.3	12.25	4.1
24	45	37	39	39	7	7	8	8	7.7	7.7	7.7	7.7	17.7	5.7
25	28	28	28	28	6	6	6	6	7.4	7.6	7.6	7.6	15	5
26	45	46	46.2	46.4	7	8	8	8	6.1	6.1	6.1	6.1	15.33	5.1
27	45	47	46	46.4	9	10	11	11	4.2	4.3	4.4	4.4	12.66	4.93
28	42	44	46	46.5	6	7	8	8	5.4	5.6	5.6	5.6	14.83	5
29	61	63	63.1	63.45	9	11	11	11	8.3	8.5	8.5	8.55	16.16	5.66
30	65	69.8	70.5	70.8	10	12	12	12	7.8	8	8.1	8.15	17.33	5.83
31	66	67	67.3	67.45	9	10	10	10	7.9	8	8	8	16.33	6
32	43	45	45.3	45.3	10	11	11	11	7.3	7.4	7.4	7.4	12.75	4.8
33	32.5	33	33.1	33.1	8	9	9	9	3.7	3.8	3.8	3.8	11	4.4
34	42	42.5	42.7	42.7	9	10	10	10	4.9	5	5	5	13	5.3
35	47	48	48	48.1	9	10	10	10	6.6	6.7	6.7	6.7	13.83	5.63
36	41	48	48.2	48.3	9	10	10	10	8.4	8.5	8.5	8.5	16	5.5
37	48	49	49	49.8	9	10	10	10	5	5.2	5.2	5.2	15	5.73
38	27.5	8	8.2	8.2	7	8	8	8	5.8	5.9	5.9	5.9	8.13	2.8
39	62	69	7.2	7.2	11	12	12	12	8.9	9.3	9.35	9.35	16.5	5.66
40	39	40.5	41	42	9	10	10	10	7	7.2	7.3	7.35	12.7	4.7
41	40	41.5	42	45	7	8	8	8	8.8	8.9	8.9	8.95	14.8	5.1
42	24	24.5	25	25.3	5	6	7	7	3.8	3.9	3.95	3.95	12.4	4.2
43	23	24.5	25.6	25.75	10	11	11	12	3.4	3.5	3.6	3.6	11.16	4.13
44	50	51.5	53	56.5	7	8	8	10	6.5	7	7.1	7.15	12.75	4.5
45	63	63	65	65	10	10	10	10	10.9	10.9	11	11	14.7	5.83
46	57	57	57.5	57.5	9	10	10	10	6.4	6.4	6.5	6.5	13.4	4.66
47	44.5	46	46.5	46.5	8	9	9	9	5.6	5.6	5.65	5.65	12.33	5
48	50	55	55.1	55.15	8	10	10	10	7.6	9	9	9	13.33	4.66
49	75	78	78	78.15	12	14	14	14	8.8	9	9	9	14.76	5.2
50	56	56	56.3	56.3	9	10	10	10	6.9	7	7.05	7.05	15.33	5.75
51	59	59.5	60	60.6	8	9	10	10	9.9	10.1	10.1	10.1	14.75	5
52	78	78	78.2	78.2	14	15	15	15	8.2	8.3	8.3	8.3	13	5.1
53	33.5	33.5	33.8	38.8	7	8	8	9	7.1	7.1	7.15	7.2	13	5.83
54	51	52.5	53	53.6	9	10	10	10	5.8	6	6.1	6.1	14	5.75
55	44.5	44.8	44.8	45	10	12	12	12	5.1	5.2	5.2	5.2	12.5	3.25

56	54	54	54.5	54.65	8	9	9	9	4.6	4.7	4.7	4.7	13.5	5.25
57	72	72	72	72.75	12	14	14	14	8.6	8.6	8.6	8.6	12.7	5.7
58	49	49	49.6	49.6	7	8	8	8	5.6	5.6	5.6	5.6	13.7	4.83
59	47	51	51.2	51.3	12	14	14	14	5.2	5.3	5.3	5.3	12.7	5.33
60	60	60	60	60.3	14	15	15	15	6.8	6.8	6.8	6.8	12	3.7
61	82	86	86	91	12	14	14	15	9.8	10.3	10.3	10.4	16	5.7
62	72	66	67.5	67.5	10	10	11	11	6.3	6.3	6.4	6.4	14.5	5
63	54	56.5	59	59.5	15	17	18	18	4.1	4.1	4.1	4.1	17	6.33
64	44	47	47.5	47.6	8	9	9	9	4.6	4.6	4.65	4.65	13.5	4.75
65	59	59.5	60	60.1	11	12	12	12	6.3	6.3	6.3	6.3	12.75	4
66	52	55	55	55.25	13	15	15	15	5.7	5.8	5.8	5.8	13.33	4.16
67	66	69.5	71.2	71.4	13	14	14	14	5.8	5.9	6	6	13.53	5.3
68	65	71.5	74.5	74.7	9	12	12	12	7.2	7.2	7.2	7.2	16	5.33
69	42	43	44.5	44.5	8	10	10	10	8.7	8.7	8.7	8.7	16.5	6.5
70	33	37	37	39	8	9	9	11	6.8	6.85	6.85	6.85	12.5	5.5
71	38	40.5	41	41.5	9	11	11	11	4.5	4.5	4.5	4.5	14	5.4
72	43	43	44.8	46.1	8	9	10	10	7.3	7.3	7.33	7.35	13.5	4.7
73	54	54	54.5	54.6	11	12	12	12	6.3	6.3	6.3	6.3	14	4.8
74	72	73	73	73	14	15	15	15	6.8	6.8	6.8	6.8	15.5	6.1
75	74	75	75.4	75.4	10	11	11	11	13.4	13.4	13.4	13.4	15	6
76	66	66.5	66.7	66.7	12	12	13	13	7.3	7.3	7.3	7.3	13.5	4.75
77	56	57	57.1	57.3	10	12	12	12	6.2	6.3	6.3	6.3	13.75	5.7
78	55	58	62.9	63	12	13	13	13	7.6	7.8	7.8	7.8	14.25	5.6
79	71	71	71	71.3	13	14	15	15	8.1	8.1	8.1	8.1	17.16	8
80	64	64.5	64.7	64.8	12	13	13	13	8.6	8.6	8.6	8.6	14	5.5
81	67	67.5	67.5	67.5	10	11	11	11	9.2	9.25	9.25	9.25	14.66	5.85
82	50	50	50	50	8	9	9	9	8.7	8.7	8.7	8.7	14.73	5.63
83	34	35.3	35.5	35.7	10	12	12	12	3.3	3.5	3.5	3.5	16.05	5
84	71.3	72	72.3	72.35	12	13	14	14	7	7.1	7.1	7.1	15.95	5.25
85	48	50	51	52	8	10	10	10	5.6	5.65	5.68	5.68	13.7	5.1
86	67.5	70	71	71.15	12	14	14	14	6.9	7	7.05	7.05	14.1	5.9
87	38.8	41.7	42	42.5	7	9	9	9	3.9	3.9	4	4	13.6	5.6
88	58.5	59	59.1	59.1	11	13	13	13	7	7.2	7.2	7.2	16.2	5.7
89	55	60.5	64	64	9	11	12	12	5.6	5.75	5.8	5.8	13.1	5.6
90	45.7	46.5	46.6	46.9	8	9	9	9	7.3	7.35	7.35	7.35	14.85	5.7
91	57	57	57.5	57.5	11	12	12	12	7.7	7.7	7.7	7.7	13.2	5
92	67.3	69	71	72.5	12	13	13	14	7.4	7.6	7.6	7.61	15.45	5.6
93	78	78	78.2	78.25	13	14	14	14	8.5	8.5	8.5	8.5	16.85	6.2
94	60	60	61	61	12	13	13	13	8.7	8.7	8.7	8.7	14.9	5.7
95	62.4	62.4	62.5	62.5	13	14	14	14	4.8	4.8	4.8	4.8	13.9	5.52
96	39	41	41.2	41.2	8	10	10	10	6.1	6.3	6.3	6.3	13.1	5.4
97	54	54	54	54.4	9	10	10	10	7.8	7.8	7.8	7.8	13.52	5.53
98	65.5	65.8	65.85	65.85	12	13	13	13	7.9	7.9	7.9	7.9	15.5	5.75
99	28.7	29	29.6	29.6	6	7	7	7	6	6	6.2	6.2	12.4	4.3
100	26.6	26.8	27.1	27.1	6	7	7	7	3.8	3.8	3.82	3.82	10.5	4.75
101	45.9	46.3	46.5	46.5	8	10	10	10	8.6	8.9	8.9	8.9	12.5	4.8
102	69.5	69.6	69.6	69.6	13	14	14	14	7.2	7.35	7.35	7.35	15.2	5.85
103	72	72.5	73	73	15	16	16	16	7.6	7.8	7.8	7.8	15.01	5.46
104	60	60.2	60.7	60.7	12	13	13	13	8.4	8.4	8.4	8.4	16	6
105	35.5	41.3	41.5	41.5	10	12	12	12	4.5	4.5	4.5	4.5	12	4.2
106	67.6	67.8	68	68	13	14	14	14	7.2	7.25	7.3	7.3	14.7	5.5
107	56	56.6	57.2	57.2	11	13	13	13	7.8	7.8	7.85	7.85	13.7	4.8
108	59.5	59.7	59.8	59.8	13	14	14	14	6.4	6.4	6.4	6.4	13.8	4.9
109	71.3	71.5	71.7	71.7	12	14	14	14	7.9	7.9	7.9	7.9	15	6.2
110	76.3	77.6	77.75	77.75	16	17	17	17	6.1	6.1	6.15	6.15	14.4	5.5
111	53.5	54.3	54.6	54.6	9	10	10	10	5.4	5.5	5.5	5.5	15.3	5.7
112	61	61	61.4	61.4	13	14	14	14	6.1	6.1	6.1	6.1	13.75	5.15
113	53.2	56	56.3	56.3	9	10	10	10	4	4.3	4.3	4.3	14.7	5.8
114	63	63.3	63.5	63.5	14	15	16	16	6.4	6.4	6.4	6.4	14	5.1
115	50.5	52	56.8	57.2	9	11	11	11	6.9	6.9	7.05	7.05	14.9	5.5

Anexo 4: Variables morfológicas cuantitativas del comportamiento de plantas control (0 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	Altura				Diámetro				IE				N° ramas/planta			
	cm				mm				Altura / Diámetro				-			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
116	241.5	245	32	32	31	31	31.9	32	7.790	7.903	7.696	7.691	34	36	33	35
117	249	250.6	30.92	30.92	30.5	30.8	30.85	30.92	8.164	8.136	8.250	8.215	33	32	31	32
118	268	272.3	31	31	27.5	29.8	30	31	9.745	9.138	9.367	9.097	42	43	45	46
119	278	279.8	29.5	29.5	27.5	29	29.5	29.5	10.109	9.648	9.519	9.525	37	36	36	37
120	305	306	36	36	34	34.2	35.88	36	8.971	8.947	8.531	8.503	42	41	41	41
121	263.5	268	30.7	30.7	30	30.15	30.7	30.7	8.783	8.889	8.827	8.664	33	33	33	33
122	342	349	38.1	38.1	36	37.5	38.1	38.1	9.500	9.307	9.265	9.265	48	48	47	47
123	271.5	278	35.2	35.2	34	35	35.2	35.2	7.985	7.943	7.949	7.949	30	31	36	30
124	256.5	260.7	32.5	32.5	30.8	31.9	32.5	32.5	8.328	8.172	8.117	8.129	33	34	33	33
125	298.5	302.8	33	33	31.3	32.4	33	33	9.537	9.346	9.270	9.286	42	42	45	46

N°	Long. Ramas				N° nudos				Long. Entrenudo				Long. de Hoja	Ancho de Hoja
	cm				-				cm				cm	cm
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	-	-
116	92	92.4	92.7	92.7	13	14	14	14	7.4	7.4	7.4	7.4	19.1	6.7
117	90.5	93.5	94	94.5	14	16	16	16	6.3	6.6	6.6	6.6	18.85	7.45
118	73.5	73.6	74.2	74.2	12	13	13	13	8.1	8.1	8.1	8.1	18.4	6.6
119	92	92.3	92.9	92.9	14	15	15	15	11.1	11.1	11.1	11.1	17.4	6.4
120	103	116.5	117.2	117.2	16	17	17	17	9.4	9.65	9.7	9.7	20.6	7.2
121	98	102.5	103	103	14	15	15	15	10.2	10.2	10.2	10.2	21.4	8.1
122	114.5	117	118.6	118.6	17	18	18	18	8.1	8.1	8.1	8.1	19.8	7.6
123	80.2	80.5	81.1	81.15	13	14	14	14	7.7	7.9	7.9	7.9	18.7	7.5
124	90.15	93.68	94.44	94.7	14	15	15	15	7.9	7.95	7.95	7.95	19.5	7.4
125	95.75	99.28	100.1	100.2	15	15	15	15	9.15	9.15	9.15	9.15	19.1	6.95

Anexo 5: Variables relacionadas con la producción de frutos (relacionado con esterilidad) por plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	N° frutos/planta	# frutos cosechados	Peso cerezo	Peso 100 frutos	# frutos c/1 semilla	# frutos c/3 semillas	Total def.	% 1 semilla	% 2 semillas	% def.
1	25	6	7.02	116.95	3.00	-	3.00	50.00	-	50.00
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	17	3	2.96	98.77	3.00	-	3.00	100.00	-	100.00
8	67	5	6.93	138.52	1.00	-	1.00	20.00	-	20.00
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	3	1	0.92	91.60	-	-	-	-	-	-
12	3	3	4.33	144.20	1.00	-	1.00	33.33	-	33.33
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	3	1	0.78	78.30	1.00	-	1.00	100.00	-	100.00
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	5	2	2.25	112.45	1.00	-	1.00	50.00	-	50.00
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	78	17	24.93	146.66	5.00	-	5.00	29.41	-	29.41
20	2	1	1.81	181.20	-	-	-	-	-	-
21	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	12	10	15.97	159.68	2.00	-	2.00	20.00	-	20.00
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	15	2	2.64	131.95	1.00	-	1.00	50.00	-	50.00
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	9	3	5.12	170.70	-	-	-	-	-	-
30	17	2	2.82	141.00	-	-	-	-	-	-
31	73	15	26.15	174.34	3.00	-	3.00	20.00	-	20.00
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	18	8	11.87	148.33	3.00	-	3.00	37.50	-	37.50
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	44	9	14.43	160.38	1.00	-	1.00	11.11	-	11.11

46	64	15	15.47	103.13	4.00	3.00	7.00	26.67	20.00	46.67
47	1	-	-		-	-	-	-	-	-
48	5	4	5.41	135.13	2.00	-	2.00	50.00	-	50.00
49	29	8	14.07	175.88	2.00	-	2.00	25.00	-	25.00
50	45	13	19.10	146.93	5.00	-	5.00	38.46	-	38.46
51	93	9	13.52	150.22	3.00	1.00	4.00	33.33	11.11	44.44
52	187	36	62.53	173.68	9.00	-	9.00	25.00	-	25.00
53	1	-	-		-	-	-	-	-	-
54	12	9	9.90	110.01	1.00	-	1.00	11.11	-	11.11
55	31	16	21.97	137.29	5.00	-	5.00	31.25	-	31.25
56	1	-	-		-	-	-	-	-	-
57	230	56	61.68	110.14	25.00	-	25.00	44.64	-	44.64
58	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	275	46	78.26	170.12	15.00	1.00	16.00	32.61	2.17	34.78
62	74	16	22.46	140.38	1.00	-	1.00	6.25	-	6.25
63	187	30	41.76	139.20	7.00	1.00	8.00	23.33	3.33	26.67
64	-	-	-		-	-	-	-	-	-
65	1	-	-		-	-	-	-	-	-
66	-	-	-		-	-	-	-	-	-
67	13	-	-		-	-	-	-	-	-
68	7	-	-		-	-	-	-	-	-
69	-	-	-		-	-	-	-	-	-
70	-	-	-		-	-	-	-	-	-
71	-	-	-		-	-	-	-	-	-
72	1	-	-		-	-	-	-	-	-
73	60	12	13.30	110.83	5.00	-	5.00	41.67	-	41.67
74	432	28	36.42	130.08	3.00	-	3.00	10.71	-	10.71
75	32	7	9.64	137.67	1.00	-	1.00	14.29	-	14.29
76	211	11	15.03	136.61	4.00	-	4.00	36.36	-	36.36
77	142	28	44.75	159.80	15.00	-	15.00	53.57	-	53.57
78	56	24	39.30	163.77	11.00	-	11.00	45.83	-	45.83
79	270	51	97.32	190.81	6.00	1.00	7.00	11.76	1.96	13.73
80	142	63	88.82	140.98	9.00	-	9.00	14.29	-	14.29
81	188	45	62.78	139.52	3.00	-	3.00	6.67	-	6.67
82	27	89	4.65	5.22	2.00	-	2.00	2.25	-	2.25
83	-	-	-		-	-	-	-	-	-
84	143	11	12.56	114.15	10.00	1.00	11.00	90.91	9.09	100.00
85	35	13	18.02	138.62	2.00	-	2.00	15.38	-	15.38
86	78	18	19.56	108.66	13.00	-	13.00	72.22	-	72.22
87	6	4	5.73	143.28	1.00	-	1.00	25.00	-	25.00
88	113	46	60.26	131.00	7.00	-	7.00	15.22	-	15.22
89	58	33	56.79	172.09	2.00	-	2.00	6.06	-	6.06
90	3	4	5.86	146.48	1.00	-	1.00	25.00	-	25.00
91	143	49	73.50	150.00	3.00	-	3.00	6.12	-	6.12
92	161	44	64.52	146.63	3.00	-	3.00	6.82	-	6.82
93	387	195	288.1	147.72	6.00	3.00	9.00	3.08	1.54	4.62
94	109	21	32.03	152.52	-	-	-	-	-	-
95	65	39	69.55	178.33	3.00	-	3.00	7.69	-	7.69
96	-	-	-		-	-	-	-	-	-
97	48	22	31.50	143.16	6.00	-	6.00	27.27	-	27.27
98	194	58	93.13	160.57	6.00	-	6.00	10.34	-	10.34
99	-	-	-		-	-	-	-	-	-
100	-	-	-		-	-	-	-	-	-

101	4	2	3.28	164.05	-	-	-	-	-	-
102	65	17	23.92	140.71	4.00	1.00	5.00	23.53	5.88	29.41
103	77	23	34.21	148.73	3.00	-	3.00	13.04	-	13.04
104	37	18	26.57	147.63	2.00	-	2.00	11.11	-	11.11
105	5	3	4.42	147.17	-	-	-	-	-	-
106	132	52	82.32	158.31	4.00	1.00	5.00	7.69	1.92	9.62
107	16	25	38.80	155.18	1.00	-	1.00	4.00	-	4.00
108	72	42	60.71	144.56	3.00	-	3.00	7.14	-	7.14
109	98	56	92.27	164.76	9.00	-	9.00	16.07	-	16.07
110	34	15	23.79	158.58	1.00	-	1.00	6.67	-	6.67
111	12	4	6.93	173.23	1.00	-	1.00	25.00	-	25.00
112	48	20	28.47	142.33	2.00	-	2.00	10.00	-	10.00
113	10	4	6.37	159.15	1.00	-	1.00	25.00	-	25.00
114	25	15	21.55	143.63	2.00	-	2.00	13.33	-	13.33
115	13	5	7.26	145.10	-	-	-	-	-	-

Anexo 6: Variables relacionadas con la producción de frutos por plantas control (0 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	N° frutos/planta	# frutos cosechados	Peso cerezo	Peso 100 frutos	# frutos c/1 semilla	# frutos c/3 semillas	Total def.	% 1 semilla	% 2 semillas	% def.
116	454	55	108.6	197.43	-	1.00	1.00	-	1.82	1.82
117	458	64	103.4	161.51	-	2.00	2.00	-	3.13	3.13
118	456	50	99.5	199.02	-	-	-	-	-	-
119	385	37	65.8	177.89	-	-	-	-	-	-
120	470	50	102.7	205.35	1.00	-	1.00	2.00	-	2.00
121	421	44	85.3	193.83	1.00	-	1.00	2.27	-	2.27
122	1,178	4	6.8	170.18	-	-	-	-	-	-
123	400	57	118.3	207.53	2.00	-	2.00	3.51	-	3.51
124	469	15	34.3	228.43	1.00	1.00	2.00	6.67	6.67	13.33
125	517	13	30.2	232.38	-	-	-	-	-	-

Anexo 7: Incidencia de la roya del café en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	Superior				Medio				Inferior				Promedio			
	%				%				%				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	25	88.23	100	30	80	80	100	50	83.33	100	100	26.67	62.78	89.41	100.00
2	0	41.66	100	88.88	10	33.33	78.57	88.88	75	71.42	100	100	28.33	48.80	92.86	92.59
3	0	12.5	75	100	12.5	50	100	100	25	75	100	100	12.50	45.83	91.67	100.00
4	25	53.84	60	50	50	100	100	85.71	-	-	-	-	37.50	76.92	80.00	67.86
5	100	66.66	100	75	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00	66.66	100.00	75.00
6	75	66.66	75	50	12.5	50	75	75	-	-	-	-	43.75	58.33	75.00	62.50
7	10	35.71	42.85	72.72	16.6	72.72	81.81	100	23.07	25	58.33	87.5	16.56	44.48	61.00	86.74
8	6.25	23.52	50	77.77	11.76	61.11	55.55	72.72	100	63.63	83.33	100	39.34	49.42	62.96	83.50
9	0	30.76	66.66	100	50	100	100	100	52.94	71.42	100	100	34.31	67.39	88.89	100.00
10	0	16.66	77.77	100	0	16.99	50	100	0	-	-	-	0.00	16.83	63.89	100.00
11	0	20	100	100	10	63.63	100	100	14.3	75	100	100	8.10	52.88	100.00	100.00
12	0	50	100	100	0	100	100	100	10	100	100	-	3.33	83.33	100.00	100.00
13	0	14.28	78.57	83.33	0	100	100	100	40	50	87.5	100	13.33	54.76	88.69	94.44
14	30	66.66	100	100	60	66.66	100	100	22.2	72.72	100	100	37.40	68.68	100.00	100.00
15	0	50	90	100	0	25	100	100	0	66.66	100	100	0.00	47.22	96.67	100.00
16	37.5	77.77	100	100	0	80	100	100	0	25	100	-	12.50	60.92	100.00	100.00
17	16.66	58.33	60	100	57.14	78.57	83.33	62.5	77.7	100	100	-	50.50	78.97	81.11	81.25
18	75	100	100	51.14	55.5	66.66	66.66	50	-	-	-	-	65.25	83.33	83.33	50.57
19	57.14	83.33	63.63	90.9	31.25	93.33	100	100	52.94	100	100	100	47.11	92.22	87.88	96.97
20	0	23.07	64.28	66.66	0	33.33	75	100	-	-	-	-	0.00	28.20	69.64	83.33
21	10	30	55.55	75.72	15.38	35.71	90.9	75	25	25	75	60	16.79	30.24	73.82	70.24
22	25	75	100	100	0	33.33	100	50	0	33.33	100	50	8.33	47.22	100.00	66.67
23	9	9	100	100	0	0	100	50	-	-	-	-	4.50	4.50	100.00	75.00
24	100	100	100	100	95	100	100	100	66.66	80	100	100	87.22	93.33	100.00	100.00
25	50	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	75.00	100.00	100.00	100.00
26	10	100	100	100	70	100	100	100	66.66	100	100	100	48.89	100.00	100.00	100.00
27	25	100	100	100	28.57	100	100	100	28.57	100	100	100	27.38	100.00	100.00	100.00
28	0	22.22	75	100	11.11	20	57.14	100	25	53.84	80	100	12.04	32.02	70.71	100.00
29	0	8.33	64.28	63.63	92.3	70	100	90	7.69	66.66	100	100	33.33	48.33	88.09	84.54
30	7.14	50	85.71	75	40	100	100	100	-	-	-	-	23.57	75.00	92.86	87.50
31	0	0	46.15	61.53	83.33	100	100	88.88	100	100	100	100	61.11	66.67	82.05	83.47
32	90	92.3	100	100	100	83.33	100	100	100	100	100	100	96.67	91.88	100.00	100.00
33	33.33	72	71.42	100	33.33	50	100	100	-	-	-	-	33.33	61.00	85.71	100.00
34	0	20	100	100	50	85.71	100	100	-	-	-	-	25.00	52.86	100.00	100.00
35	42.8	70	100	100	75	66.66	100	100	-	-	-	-	58.90	68.33	100.00	100.00
36	0	50	100	66.66	0	55.55	100	100	-	-	-	-	0.00	52.78	100.00	83.33
37	10	70	100	100	28.57	83.33	100	100	22.2	28.57	100	100	20.26	60.63	100.00	100.00
38	42.85	42.85	70	-	20	20	33.33	100	-	-	-	-	31.43	31.43	51.67	100.00
39	0	40	90	75	0	43.75	100	100	10	100	100	100	3.33	61.25	96.67	91.67
40	0	100	100	100	50	100	100	100	100	100	100	100	50.00	100.00	100.00	100.00
41	33.33	62.5	75	33.33	100	100	100	60	-	-	-	-	66.67	81.25	87.50	46.67
42	50	100	100	100	57.14	100	100	100	-	-	-	-	53.57	100.00	100.00	100.00
43	33.33	57.14	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	33.33	57.14	100.00	100.00
44	100	100	100	33.33	100	100	100	100	-	-	-	-	100.00	100.00	100.00	66.67
45	16.66	64.28	64.28	57.14	46.66	100	100	69.23	80	100	100	100	47.77	88.09	88.09	75.46
46	0	50	100	100	6.66	73.33	100	100	0	75	100	100	2.22	66.11	100.00	100.00
47	0	12.5	53.84	80	7.14	5.88	80	90.9	0	0	-	-	2.38	6.13	66.92	85.45
48	0	42.85	75	85.71	9.09	63.63	90	100	-	-	-	-	4.55	53.24	82.50	92.86
49	0	11.76	26.31	41.17	7.69	15.38	53.84	72.72	0	0	66.66	81.81	2.56	9.05	48.94	65.23
50	0	7.69	6.23	81.81	6.25	25	100	100	0	42.85	100	100	2.08	25.18	100.00	93.94
51	0	12.5	72.22	100	7.69	13.33	71.42	100	18.18	90.9	100	100	8.62	38.91	81.21	100.00
52	18.75	44.44	84.61	100	15.38	75	100	100	0	100	100	100	11.38	73.15	94.87	100.00
53	0	0	50	90.9	10	33.33	57.14	100	-	-	-	-	5.00	16.67	53.57	95.45
54	0	0	30.76	100	0	0	87.5	100	-	-	-	-	0.00	0.00	59.13	100.00
55	0	0	33.33	54.54	0	11.11	63.63	57.14	-	25	50	100	0.00	12.04	48.99	70.56

56	15.38	33.33	83.33	66.66	0	54.54	100	100	-	-	-	-	7.69	43.94	91.67	83.33
57	8.33	36.36	75	100	57.17	75	100	100	-	-	-	-	32.75	55.68	87.50	100.00
58	0	30	100	100	0	6.66	71.42	100	0	0	50	100	0.00	12.22	73.81	100.00
59	0	12.5	87.5	100	0	20	75	87.5	-	-	-	-	0.00	16.25	81.25	93.75
60	0	0	0	50	0	21.42	66.66	50	0	40	100	100	0.00	20.47	55.55	66.67
61	0	15	65	86.66	5	31.81	100	100	40	100	100	100	15.00	48.94	88.33	95.55
62	0	57.14	100	100	100	89.47	85.71	100	0	100	100	100	33.33	82.20	95.24	100.00
63	0	11.11	12.5	37.5	0	11.76	53.57	65.38	46.15	44.44	73.68	91.66	15.38	22.44	46.58	64.85
64	12.5	70	100	100	71.42	100	100	100	-	-	-	-	41.96	85.00	100.00	100.00
65	37.5	66.66	100	100	14.28	71.42	100	100	-	-	-	-	25.89	69.04	100.00	100.00
66	13.33	31.57	50	66.66	35.71	55.55	100	100	14.28	75	100	100	21.11	54.04	83.33	88.89
67	28.57	76.92	70	100	75	83.33	100	100	90	100	100	100	64.52	86.75	90.00	100.00
68	0	20	30.77	50	80	100	100	100	50	100	100	100	43.33	73.33	76.92	83.33
69	0	80	100	100	25	50	100	100	-	-	-	-	12.50	65.00	100.00	100.00
70	71.42	77.77	100	100	80	75	100	100	-	-	-	-	75.71	76.39	100.00	100.00
71	0	40	80	100	25	57.14	100	100	-	-	-	-	12.50	48.57	90.00	100.00
72	0	60	75	100	12.5	85.71	100	100	-	-	-	-	6.25	72.86	87.50	100.00
73	16.66	66.66	83.33	100	100	100	100	100	-	-	-	-	58.33	83.33	91.67	100.00
74	18.18	63.63	100	100	7.14	57.14	100	100	70	75	100	100	31.77	65.26	100.00	100.00
75	0	50	100	100	31.25	83.33	100	100	40	100	100	100	23.75	77.78	100.00	100.00
76	20	33.33	100	100	60	66.66	100	100	-	-	100	100	40.00	50.00	100.00	100.00
77	0	28.57	100	100	20	50	100	100	0	42.85	66.66	100	6.67	40.47	88.89	100.00
78	0	33.33	75	91.66	7.69	14.28	37.5	42.85	-	-	-	-	3.85	23.81	56.25	67.26
79	0	0	0	0	0	5.84	28.57	57.14	9.09	0	70	100	3.03	1.95	32.86	52.38
80	16.66	83.33	60	100	71.42	77.77	100	100	-	-	-	-	44.04	80.55	80.00	100.00
81	41.66	100	100	-	50	100	100	100	12.5	100	100	100	34.72	100.00	100.00	100.00
82	50	84.61	100	100	50	100	100	100	100	100	100	100	66.67	94.87	100.00	100.00
83	33.33	83.33	30	80	-	-	-	-	-	-	-	-	33.33	83.33	30.00	80.00
84	30.76	86.66	80	100	30	100	100	100	-	-	-	-	30.38	93.33	90.00	100.00
85	10	78.57	100	100	63.63	91.66	100	100	50	100	100	100	41.21	90.08	100.00	100.00
86	63.63	100	100	100	88.88	100	100	100	-	-	-	-	76.26	100.00	100.00	100.00
87	10	80	100	100	33.33	84.61	100	100	37.5	83.33	100	100	26.94	82.65	100.00	100.00
88	14.28	77.77	100	100	36.36	84.61	100	100	60	80	100	100	36.88	80.79	100.00	100.00
89	7.14	26.66	81.75	72.75	15.38	73.68	87.5	100	100	100	100	100	40.84	66.78	89.75	90.92
90	25	100	83.33	100	60	100	100	100	12.5	100	100	100	32.50	100.00	94.44	100.00
91	0	60	84.61	100	7.69	70	90.9	100	50	100	100	100	19.23	76.67	91.84	100.00
92	22.22	78.57	100	90.9	33.33	83.33	100	100	12.5	100	100	100	22.68	87.30	100.00	96.97
93	7.14	50	70	100	25	70.58	100	100	75	100	100	100	35.71	73.53	90.00	100.00
94	16.66	78.57	70	100	81.81	100	80	100	100	100	100	100	66.16	92.86	83.33	100.00
95	7.14	68.75	87.5	100	27.77	70.58	100	100	85.71	100	100	100	40.21	79.78	95.83	100.00
96	40	100	100	100	11.11	100	100	100	-	-	-	-	25.56	100.00	100.00	100.00
97	12.5	66.69	100	66.66	6	77.77	100	100	-	-	-	-	9.25	72.23	100.00	83.33
98	46.15	88.23	100	100	43.75	73.92	100	100	75	100	100	100	54.97	87.38	100.00	100.00
99	33.33	77.77	100	-	62.5	100	100	100	-	-	-	-	47.92	88.89	100.00	100.00
100	12.5	100	100	0	80	100	100	100	100	100	100	100	64.17	100.00	100.00	66.67
101	62.5	85.71	100	100	70	100	100	100	-	-	-	-	66.25	92.86	100.00	100.00
102	20	83.33	85.71	100	22.22	100	71.42	100	100	100	100	100	47.41	94.44	85.71	100.00
103	27.77	89.47	100	100	41.66	81.81	100	100	81.81	100	100	100	50.41	90.43	100.00	100.00
104	78.57	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	89.29	100.00	100.00	100.00
105	37.5	81.81	83.33	100	40	77.77	100	100	100	100	100	100	59.17	86.53	94.44	100.00
106	8.33	78.57	75	100	50	77.77	100	100	0	42.85	100	100	19.44	66.40	91.67	100.00
107	40	81.81	88.88	66.66	75	75	100	50	-	-	-	-	57.50	78.41	94.44	58.33
108	26.66	89.47	100	100	58.33	87.5	100	100	87.5	100	100	100	57.50	92.32	100.00	100.00
109	14.28	85.71	100	100	55.55	100	100	100	100	100	100	100	56.61	95.24	100.00	100.00
110	20	35.71	85	75	0	62.5	93.33	100	55.55	80	100	100	25.18	59.40	92.78	91.67
111	53.84	87.5	100	66.66	60	100	100	100	100	100	100	100	71.28	95.83	100.00	88.89
112	23.07	76.92	80	100	30	75	100	100	60	75	100	100	37.69	75.64	93.33	100.00
113	23.07	75	100	100	14.28	86.66	100	100	-	-	-	-	18.68	80.83	100.00	100.00
114	23.52	64.7	100	100	42.85	77.27	100	100	71.42	100	100	100	45.93	80.66	100.00	100.00
115	12.5	58.33	100	100	57.14	64.25	100	100	0	50	90	100	23.21	57.53	96.67	100.00

Anexo 8: Incidencia de la roya del café en plantas control (0 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

N°	Superior				Medio				Inferior				Promedio			
	%				%				%				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
116	13.63	31.81	85.71	100	47.05	100	100	100	87.5	100	100	100	49.39	77.27	95.24	100.00
117	21.42	75	100	100	50	90.9	100	100	75	88.88	100	100	48.81	84.93	100.00	100.00
118	5.26	25	81.25	100	10	31.81	100	100	87.5	90	100	100	34.25	48.94	93.75	100.00
119	0	28.57	88.88	88.88	75	85	100	100	100	100	100	100	58.33	71.19	96.29	96.29
120	0	17.39	94.44	92.85	62.5	64	100	100	87.5	100	100	100	50.00	60.46	98.15	97.62
121	5	25	78.26	80	14.28	75	100	100	50	85.71	100	100	23.09	61.90	92.75	93.33
122	71.42	71.42	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90.47	90.47	100.00	100.00
123	0	27.27	80	100	63.63	71.42	90	80	62.5	90	83.33	87.5	42.04	62.90	84.44	89.17
124	10	33.33	88.88	95	40	70	94.7	100	66.67	85.71	95.23	100	38.89	63.01	92.94	98.33
125	20	40	80	88.89	65	75	100	100	93.33	100	100	100	59.44	71.67	93.33	96.30

Anexo 9: Incidencia de la cercosporiosis del café en plantas M1 (100 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

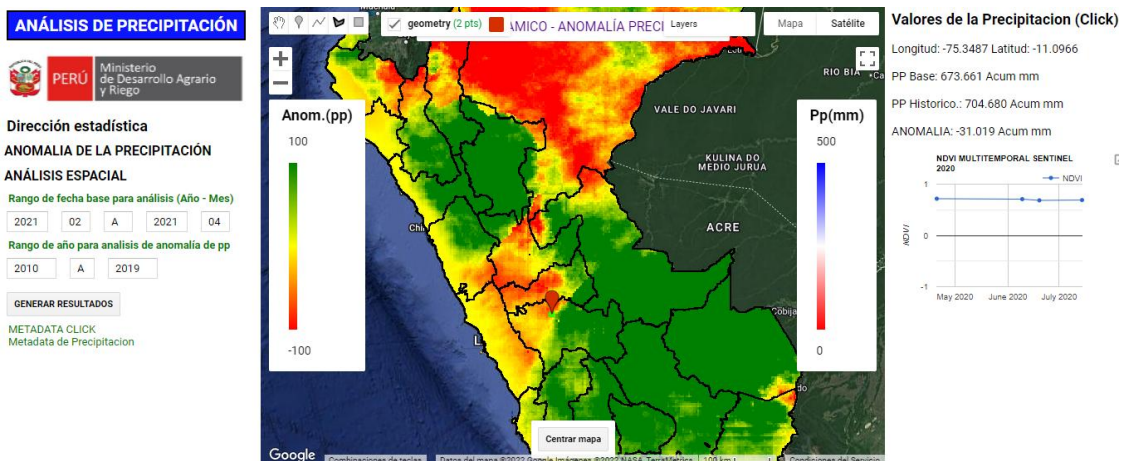
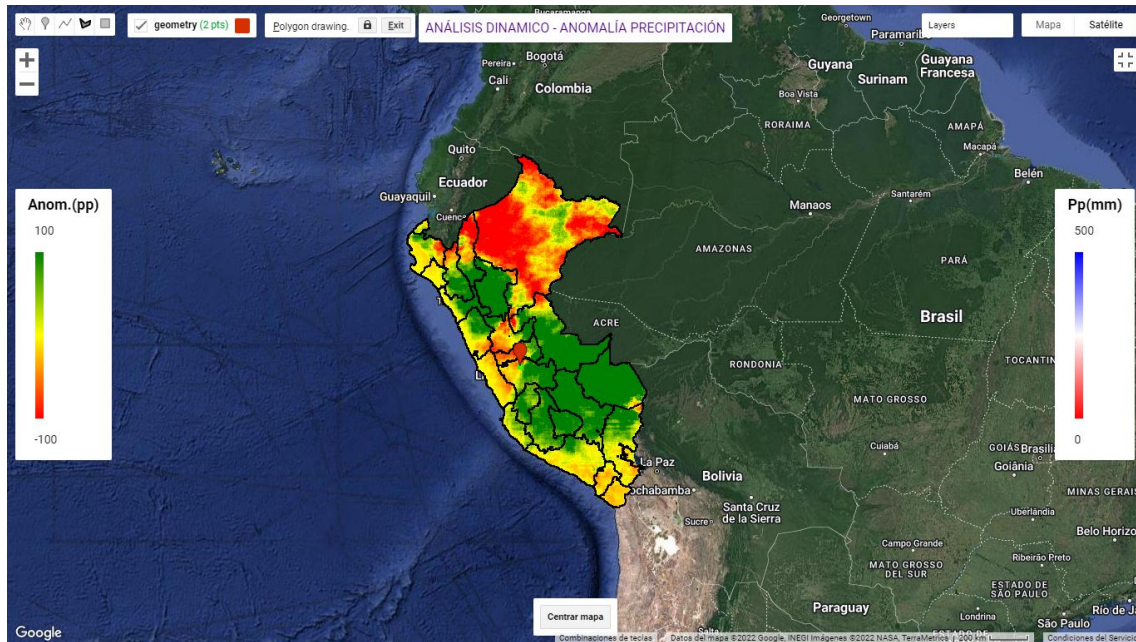
N°	Superior				Medio				Inferior				Promedio			
	%				%				%				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	5.88	70	30	10	20	66.66	37.5	14.28	33.33	100	22.50	8.09	19.74	78.89
2	0	8.33	11.11	55.55	10	8.33	14.28	55.55	10	10	60	75	6.67	8.89	28.46	62.03
3	0	0	0	50	10	12.5	14.28	80	0	0	12.5	66.66	3.33	4.17	8.93	65.55
4	0	7.69	10	20	0	0	25	42.85	-	-	-	-	0.00	3.85	17.50	31.43
5	12.5	33.33	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	12.50	33.33	50.00	50.00
6	0	0	16.66	50	0	0	0	50	0	0	-	-	0.00	0.00	8.33	50.00
7	0	0	7.14	27.27	0	9.09	9.09	46.15	0	0	0	62.5	0.00	3.03	5.41	45.31
8	0	0	14.28	22.22	0	0	0	63.63	0	0	0	50	0.00	0.00	4.76	45.28
9	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0.00	0.00	0.00	100.00
10	0	0	0	60	0	0	0	-	0	-	-	-	0.00	0.00	0.00	60.00
11	0	0	0	0	0	0	10	100	7.14	6.25	0	100	2.38	2.08	3.33	66.67
12	0	0	0	75	7.7	11.11	-	66.66	10	0	0	-	5.90	3.70	0.00	70.83
13	0	0	0	33.33	0	0	10	33.33	0	0	12.5	85.71	0.00	0.00	7.50	50.79
14	0	0	0	100	0	0	12.5	71.42	11.1	0	12.5	100	3.70	0.00	8.33	90.47
15	25	12.5	20	50	25	0	0	77.77	0	0	33.33	100	16.67	4.17	17.78	75.92
16	0	0	20	100	0	0	0	100	0	0	0	-	0.00	0.00	6.67	100.00
17	0	0	0	50	0	0	0	50	0	12.5	12.5	-	0.00	4.17	4.17	50.00
18	12.5	12.5	12.5	28.57	0	0	0	0	0	0	0	0	4.17	4.17	4.17	9.52
19	11.76	8.33	18.18	36.39	0	0	14.28	66.66	0	0	0	50	3.92	2.78	10.82	51.02
20	0	0	14.28	33.33	0	0	0	57.14	-	-	-	-	0.00	0.00	7.14	45.24
21	0	0	11.11	36.36	0	0	18.18	37.5	0	0	12.5	80	0.00	0.00	13.93	51.29
22	25	12.5	33.33	60	0	0	42.85	50	0	0	11.11	50	8.33	4.17	29.10	53.33
23	0	0	0	50	0	0	0	50	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	50.00
24	0	0	28.57	100	0	0	0	100	-	0	0	-	0.00	0.00	9.52	100.00
25	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0	0	20	100	0	10	50	-	0	0	0	-	0.00	3.33	23.33	100.00
27	0	0	20	80	12.5	12.5	10	10	0	0	0	-	4.17	4.17	10.00	45.00
28	0	0	10	25	0	0	0	57.14	0	0	10	33.33	0.00	0.00	6.67	38.49
29	0	0	10	27.27	7.69	7.69	33.33	30	0	0	0	40	2.56	2.56	14.44	32.42
30	0	0	14.28	25	0	10	33.33	33.33	-	-	-	-	0.00	5.00	23.81	29.17
31	0	7.14	0	23.07	16.66	16.66	50	44.44	0	0	20	0	5.55	7.93	23.33	22.50
32	0	0	25	50	28.57	23.07	100	-	-	-	-	-	14.29	11.54	62.50	50.00
33	0	0	14.28	60	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	7.14	30.00
34	0	10	20	20	0	0	25	50	-	-	-	-	0.00	5.00	22.50	35.00
35	0	0	16.66	25	0	8.33	14.28	33.33	-	-	-	-	0.00	4.17	15.47	29.17
36	0	8.33	8.33	0	12.5	0	11.11	20	-	-	-	-	6.25	4.17	9.72	10.00
37	0	0	10	100	0	22.22	33.33	100	14.28	14.28	33.33	50	4.76	12.17	25.55	83.33
38	0	0	10	-	0	0	16.6	-	-	-	-	-	0.00	0.00	13.30	-
39	0	10	20	20	0	0	25	30.76	0	0	0	40	0.00	3.33	15.00	30.25
40	0	20	25	40	30	30	25	25	20	20	10	33.33	16.67	23.33	20.00	32.78
41	16.66	25	50	0	0	8.33	20	40	-	-	-	-	8.33	16.67	35.00	20.00
42	0	0	10	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	5.00	0.00
43	0	14.28	15.3	50	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	7.14	7.65	25.00
44	0	0	25	33.33	11.11	11.11	20	-	-	-	-	-	5.56	5.56	22.50	33.33
45	0	0	8.33	28.57	0	0	15.38	44.44	0	0	0	0	0.00	0.00	7.90	24.34
46	0	0	7.14	58.33	0	0	0	50	0	0	0	-	0.00	0.00	2.38	54.17
47	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
48	10	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	5.00	0.00	0.00	0.00
49	0	0	0	0	0	0	7.69	18.18	8.33	7.69	8.33	9.09	2.78	2.56	5.34	9.09
50	0	0	15.38	9.09	0	0	0	33.33	0	0	0	0	0.00	0.00	5.13	14.14
51	0	6.25	16.66	20	15.38	13.33	14.28	20	0	0	11.11	33.33	5.13	6.53	14.02	24.44
52	0	0	23.07	25	7.69	8.33	8.33	0	0	0	0	-	2.56	2.78	10.47	12.50
53	0	0	20	9.09	0	0	0	20	-	-	-	-	0.00	0.00	10.00	14.55
54	0	0	15.38	0	0	0	12.5	50	-	-	-	-	0.00	0.00	13.94	25.00
55	0	0	9.9	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0.00	0.00	4.95	0.00

56	0	0	16.66	33.33	0	0	27.27	50	-	-	-	-	0.00	0.00	21.97	41.67
57	0	9.09	16.66	.	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	4.55	8.33	0.00
58	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0.00	0.00	3.33	6.67
59	0	0	0	0	10	10	8.33	12.5	-	-	-	-	5.00	5.00	4.17	6.25
60	0	0	0	0	0	0	16.66	10	0	0	0	0	0.00	0.00	5.55	3.33
61	0	0	0	0	0	0	0	8.33	0	0	0	20	0.00	0.00	6.67	4.17
62	0	0	6.66	14.28	10	10	10	10	0	0	0	-	3.33	3.33	5.55	12.14
63	0	0	0	0	0	0	3.57	3.57	0	0	0	0	0.00	0.00	1.19	1.19
64	0	10	22.22	33.33	0	0	0	50	-	-	-	-	0.00	5.00	11.11	41.67
65	12.5	10	20	33.33	0	0	0	100	-	-	-	-	6.25	5.00	10.00	66.67
66	0	0	5.26	5.26	7.14	11.11	20	33.33	0	0	0	0	2.38	3.70	8.42	12.86
67	7.14	7.69	10	10	10	16.69	15	50	0	0	10	-	5.71	8.13	11.67	30.00
68	0	0	0	20	0	12.5	10	12.5	0	0	0	0	0.00	4.17	3.33	10.83
69	0	0	20	20	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	10.00	10.00
70	0	0	15	100	0	0	10	50	-	-	-	-	0.00	0.00	12.50	75.00
71	0	0	0	0	0	0	12.5	25	-	-	-	-	0.00	0.00	6.25	12.50
72	0	0	8.33	28.57	0	0	8.33	16.66	-	-	-	-	0.00	0.00	8.33	22.62
73	0	0	16.66	66.66	25	20	15	20	-	-	-	-	12.50	10.00	15.83	43.33
74	0	0	10	50	0	7.69	10	-	0	0	25	-	0.00	2.56	15.00	50.00
75	0	8.33	25	22.22	0	8.33	33.33	-	0	0	25	-	0.00	5.55	27.78	22.22
76	0	0	16.66	28.57	0	11.11	33.33	-	-	-	33.33	-	0.00	5.56	27.77	28.57
77	0	0	16.66	50	0	0	25	33.33	0	0	0	50	0.00	0.00	13.89	44.44
78	0	0	6.25	25	0	0	0	0	-	-	-	-	0.00	0.00	3.13	12.50
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0	0	6.66	30.76	0	0	0	50	-	-	-	-	0.00	0.00	3.33	40.38
81	0	0	25	-	0	15.38	20	-	0	0	50	-	0.00	5.13	31.67	-
82	0	0	20	40	0	0	50	75	0	0	0	0	0.00	0.00	23.33	38.33
83	0	0	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	50.00	50.00
84	0	0	50	66.66	0	0	50	50	-	-	-	-	0.00	0.00	50.00	58.33
85	10	7.14	37.55	37.55	9.09	9.09	28.57	28.57	0	0	-	-	6.36	5.41	33.06	33.06
86	9.09	14.285	20	25	0	0	16.66	66.66	-	-	-	-	4.55	7.14	18.33	45.83
87	0	10	30	50	0	0	40	100	0	16.66	33.33	-	0.00	8.89	34.44	75.00
88	14.28	14.28	20	28.57	0	0	50	-	20	20	-	-	11.43	11.43	35.00	28.57
89	0	0	6.25	27.27	0	0	6.66	66.66	0	0	11.11	50	0.00	0.00	8.01	47.98
90	0	0	16.66	100	10	12.5	20	20	0	0	0	-	3.33	4.17	12.22	60.00
91	10	10	15.38	33.33	0	10	9.09	20	0	0	0	-	3.33	6.67	8.16	26.67
92	0	7.14	16.66	36.36	0	0	25	-	0	0	-	-	0.00	2.38	20.83	36.36
93	7.14	6.25	10	33.33	10	11.11	20	33.33	0	0	33.33	-	5.71	5.79	21.11	33.33
94	0	0	20	33.33	9.09	9.09	20	0	0	0	10	-	3.03	3.03	16.67	16.67
95	0	0	18.75	20	0	0	25	50	0	0	0	-	0.00	0.00	14.58	35.00
96	0	0	25	50	11.11	11.11	20	-	-	-	-	-	5.56	5.56	22.50	50.00
97	6.25	6.25	50	50	0	0	10	0	-	-	-	-	3.13	3.13	30.00	25.00
98	0	0	20	0	0	0	10	0	0	0	0	-	0.00	0.00	10.00	0.00
99	0	11.11	20	-	0	33.33	33.33	-	-	-	-	-	0.00	22.22	26.67	-
100	0	16.66	50	0	0	0	0	-	0	0	-	-	0.00	5.55	25.00	0.00
101	12.5	14.28	20	50	0	0	50	-	-	-	-	-	6.25	7.14	35.00	50.00
102	10	8.33	14.28	12.5	11.1	15.38	28.57	20	0	0	0	-	7.03	7.90	14.28	16.25
103	0	0	20	33.33	0	0	0	-	0	0	0	-	0.00	0.00	6.67	33.33
104	0	0	25	33.33	0	0	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	25.00	33.33
105	0	0	50	40	0	0	40	33.33	0	0	50	-	0.00	0.00	46.67	36.67
106	0	0	25	50	0	11.11	25	0	0	0	30	-	0.00	3.70	26.67	25.00
107	0	0	44.44	33.33	0	0	33.33	25	-	-	-	-	0.00	0.00	38.89	29.17
108	6.66	5.26	30	50	16.66	16.66	20	-	0	0	-	-	7.77	7.31	25.00	50.00
109	0	0	25	40	0	0	20	100	0	0	-	-	0.00	0.00	22.50	70.00
110	10	7.14	20	37.5	0	0	20	40	0	0	50	33.33	3.33	2.38	30.00	36.94
111	7.69	6.25	33.33	25	0	0	30	66.66	0	0	-	-	2.56	2.08	31.67	45.83
112	0	0	20	40	0	0	16.66	100	20	50	75	-	6.67	16.67	37.22	70.00
113	0	0	80	80	0	0	33.33	-	-	-	-	-	0.00	0.00	56.67	80.00
114	11.76	5.88	25	40	0	0	50	0	0	0	33.33	-	3.92	1.96	36.11	20.00
115	0	0	25	20	0	0	20	50	8.33	7.14	30	33.33	2.78	2.38	25.00	34.44

Anexo 10: Incidencia de la cercosporiosis del café en plantas control (0 Gy) de *Coffea arabica* L. var. Típica en condiciones de campo.

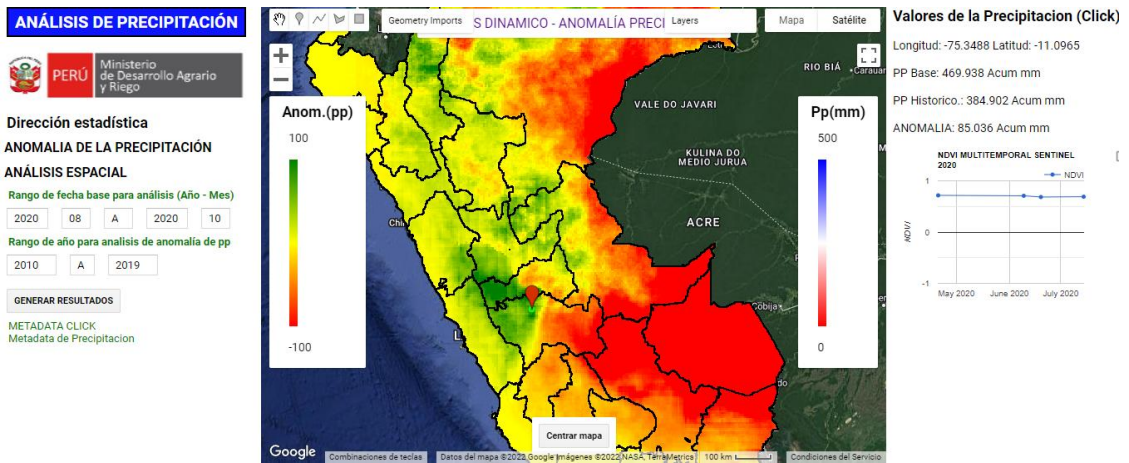
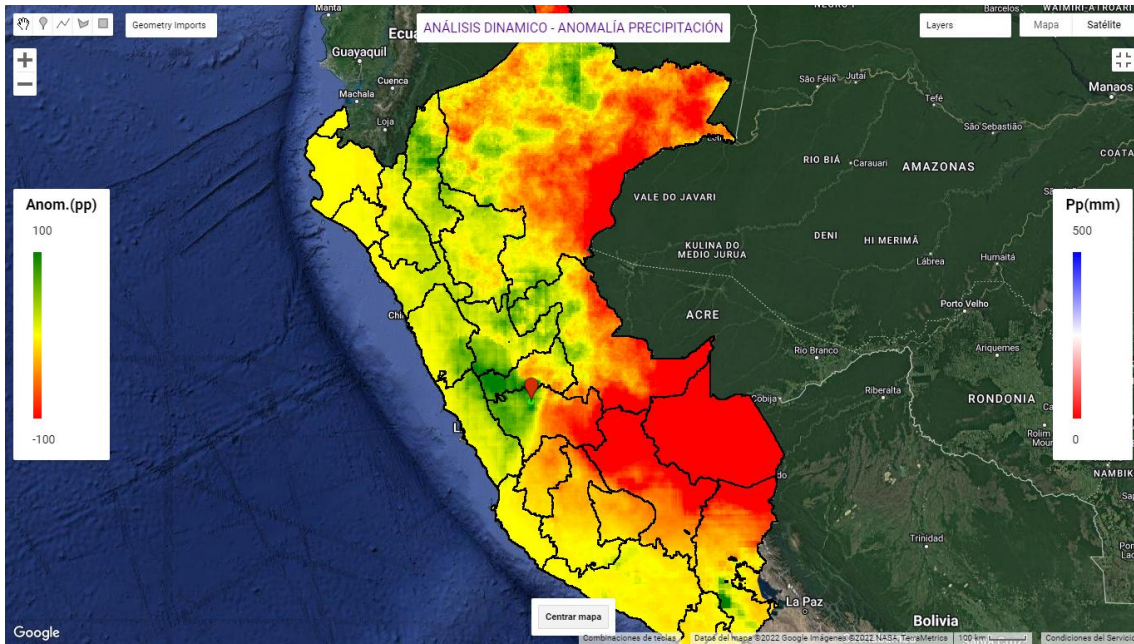
N°	Superior				Medio				Inferior				Promedio			
	%				%				%				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
116	0	0	21.42	40	11.11	0	11.11	0	0	0	0	-	3.70	0.00	10.84	20.00
117	0	0	18.18	40	0	0	25	20	0	0	20	-	0.00	0.00	21.06	30.00
118	0	0	18.75	12.5	5	4.54	15	33.33	0	0	0	-	1.67	1.51	11.25	22.92
119	9.09	5	12.5	46.66	25	28.57	38.46	42.85	0	0	-	-	11.36	11.19	25.48	44.76
120	6.66	4.34	0	28.57	6.25	4	28.57	20	12.5	12.5	0	0	8.47	6.95	9.52	16.19
121	0	0	21.73	25	0	0	14.28	14.28	0	0	0	0	0.00	0.00	12.00	13.09
122	0	8.33	30	-	9.09	9.09	20	-	0	0	0	-	3.03	5.81	16.67	-
123	0	0	30	30	18.18	13.13	20	20	0	0	0	12.5	6.06	4.38	16.67	20.83
124	0	5.56	11.11	12.5	8.33	8.33	9.52	17.64	5	0	0	-	4.44	4.63	6.88	15.07
125	5	10	10	20	12.5	12.5	12.5	18.7	0	0	0	0	5.83	7.50	7.50	12.90

Anexo 11: Análisis de anomalías en relación con el inicio de lluvias esperado con respecto a datos históricos para la zona en estudio.



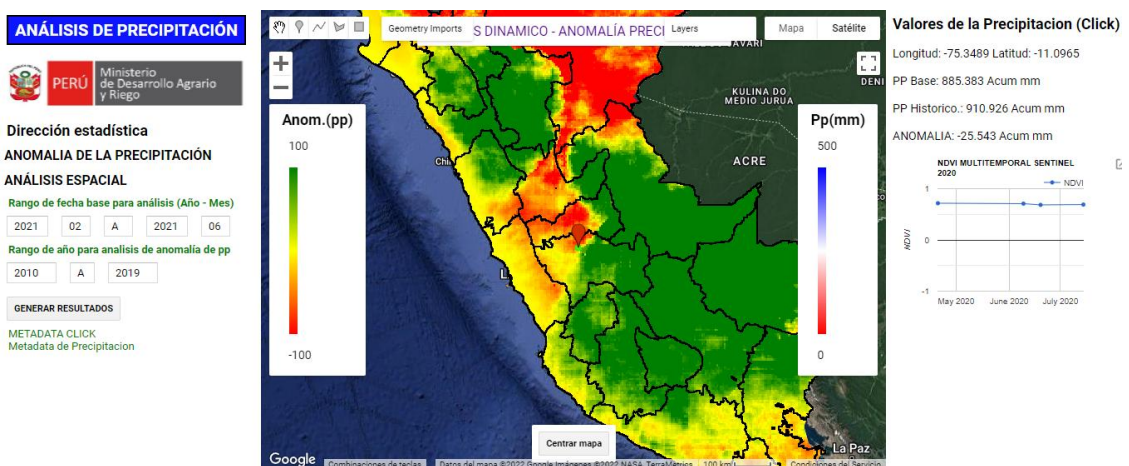
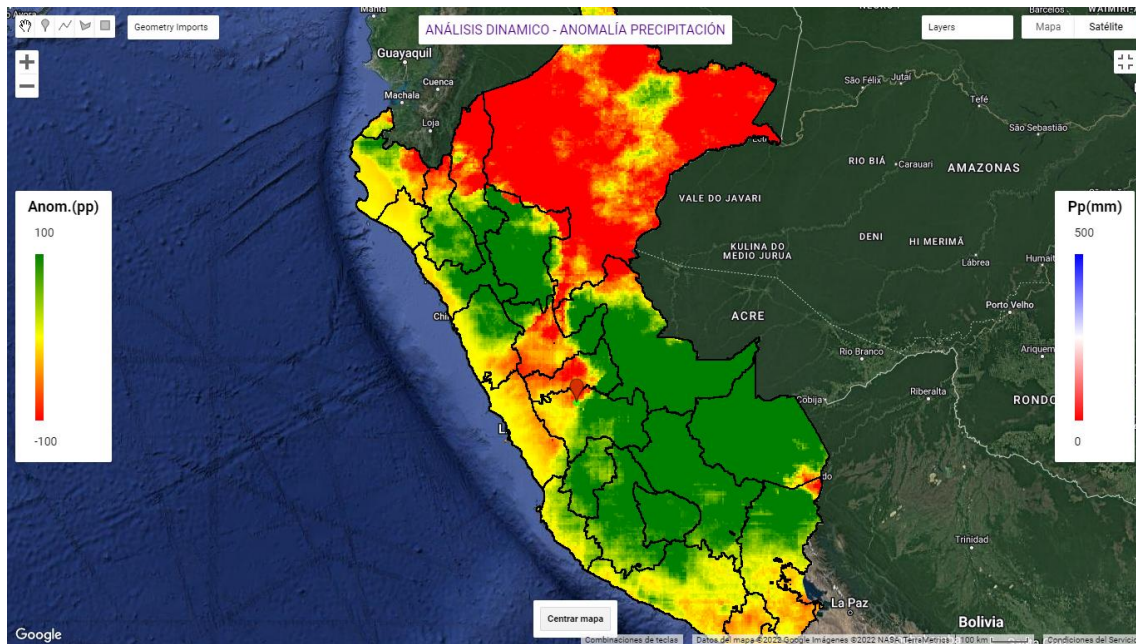
<https://minagri-geoespacial.users.earthengine.app/view/anomaliav3>

Anexo 12: Análisis de anomalías de precipitación durante la etapa de floración estimada con respecto a datos históricos para la zona de estudio.



<https://minagri-geoespacial.users.earthengine.app/view/anomaliav3>

Anexo 13: Análisis de anomalías de precipitación durante todo el período de evaluación con respecto a datos históricos para la zona de estudio.



<https://minagri-geoespacial.users.earthengine.app/view/anomaliav3>

Anexo 14: Ubicación y características de la zona en estudio.

