

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“RADIOSENSIBILIDAD DE CAFÉ (*Coffea arabica* L. var. *Typica*)  
APLICADO CON RADIACIÓN GAMMA”**

**Presentada por:**

**VANIA CARMENZA QUINTANA VASSALLO**

**Tesis para optar el Título de:  
INGENIERO AGRONOMO**

**Lima-Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“RADIOSENSIBILIDAD DE CAFÉ (*Coffea arabica* L. var. *Typica*)  
APLICADO CON RADIACIÓN GAMMA”**

Presentada por:

**VANIA CARMENZA QUINTANA VASSALLO**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobado ante el siguiente Jurado:

.....  
Dr. Oscar Loli Figueroa  
**PRESIDENTE**

.....  
Dr. Alberto Julca Otiniano  
**ASESOR**

.....  
Dr. Jorge Jiménez Dávalos  
**MIEMBRO**

.....  
Dra. Luz Gómez Pando  
**MIEMBRO**

**Lima – Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Gonzalo y Cecilia, por su amor y apoyo en todo momento, a mis hermanos Nadiejda e Ilitch, por su compañía y consejos y a mis sobrinas Maia y Nikita.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor Dr. Alberto Julca Otiniano por su tiempo, apoyo y consejo.

A la Dra. Luz Gómez, por sus aportes en el trabajo de investigación.

Al Ing. Leonel Alvarado por el apoyo en las evaluaciones y Ing. José Vasquéz, administrador del Fundo La Génova, por recibirme en las instalaciones.

A mis amigos, que estuvieron apoyándome en todo este tiempo.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
2.1 ORIGEN E HISTORIA	4
2.2 SITUACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ	5
2.2.1 Café en el mundo	5
2.2.2Café en el Perú	6
2.2.3 Exportación de café peruano	8
2.3 TAXONOMÍA	9
2.4 DIVERSIDAD GENÉTICA DE CAFÉ	9
2.5 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	10
2.5.1 Raíz	10
2.5.2 Tallo	11
2.5.3 Ramas	11
2.5.4 Hojas	12
2.5.5 Flor	12
2.5.6 Fruto	12
2.6 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	13
2.6.1 Altitud	13
2.6.2 Temperatura	14
2.6.3 Precipitación	14
2.6.4 Humedad relativa	14
2.6.5 Características del suelo	14
2.7 FISIOLOGÍA DE CAFÉ	15
2.7.1 Características de la semilla	15
2.7.2 Germinación de semilla de café	16
2.8 VARIEDADES DE CAFÉ	20
2.8.1 Typica	20
2.8.2 Paché	20

2.8.3 Borbón	21
2.8.4 Caturra	21
2.8.5 Catimor	21
2.9 MEJORAMIENTO GENÉTICO	22
2.10 MUTACIÓN	22
2.10.1 Tipos de mutación	23
2.11 AGENTES MUTAGÉNICOS	24
2.11.1 Mutágenos físicos	25
2.11.2 Múgatenos químicos	25
2.12 RAYOS GAMMA	26
2.13 INDUCCIÓN DE MUTACIONES	27
2.13.1 Radiosensibilidad	28
2.13.2 Efecto de los mutágenos en la generación M1	29
2.13.3 Efecto de mutaciones sobre material vegetal	30
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL	32
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	33
3.3 METODOLOGIA	34
3.3.1 VARIABLES ESTUDIADAS	34
3.3.2 Tratamiento de las semillas	36
3.3.2.1. Primer experimento	36
3.3.2.2. Segundo experimento	37
3.3.2.3. Tercer experimento	38
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>40</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>62</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>63</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>FIGURA 1:</b> PRODUCCIÓN DE CAFÉ POR CONTINENTES.....	6
<b>FIGURA 2:</b> PRODUCCIÓN DE LOS 10 PRINCIPALES PRODUCTORES DE CAFÉ EN EL MUNDO ...	8
<b>FIGURA 3:</b> ZONA INTERTROPICAL, CONOCIDA COMO EL CINTURÓN DE CAFÉ .....	13
<b>FIGURA 4:</b> ETAPAS DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ .....	18
<b>FIGURA 5:</b> ESQUEMA DE MEJORAMIENTO DE CULTIVOS CONSIDERANDO DOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES: VARIACIÓN GENÉTICA Y SELECCIÓN. <b>FUENTE:</b> TOMADO DE NOVAK Y BRUNNER 1992. ....	28
<b>FIGURA 6:</b> METODOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE CEREALES Y GRANOS NATIVOS EMPLEANDO LA INDUCCIÓN DE MUTACIONES - PROGRAMA DE CEREALES MENORES Y GRANOS NATIVOS DE LA UNALM .....	31
<b>FIGURA 7:</b> UBICACIÓN DE EXPERIMENTOS IZQ. UNALM DER. IRD SELVA <b>FUENTE:</b> GOOGLE EARTH,2018.....	32
<b>FIGURA 8:</b> PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L. VAR. TYPICA) IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A 200GY Y 300GY Y UN TRATAMIENTO CONTROL EN CONDICIONES DE LABORATORIO, INVERNADERO Y VIVERO. ....	40
<b>FIGURA 9:</b> PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L. VAR. TYPICA) PROVENIENTES DE CHAUPIMAYO Y SANTA TERESA (CUSCO) IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA CON 0, 50, 100, 150GY A LOS 62 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA. ....	42
<b>FIGURA 10:</b> GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ VARIEDAD TYPICA TRATADAS CON RAYOS GAMMA A LOS 60 DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA (T1= 0GY T2= 50GY T3= 100GY T4= 150GY T5=0GY T6=50GY T7=100GY T8=150GY) EN CONDICIONES DE LABORATORIO.....	43
<b>FIGURA 11:</b> PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L.VAR.TYPICA) PROCEDENTES DE CHAUPIMAYO Y SANTA TERESA IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A 50, 100, 150GY Y TRATAMIENTO CONTROL A LOS 75 DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA EN CASA MALLA. ....	44
<b>FIGURA 12:</b> PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L. VAR. TYPICA) CHAUPIMAYO Y SANTA TERESA IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A 50, 100, 150GY Y TRATAMIENTO CONTROL A LOS 35 DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA EN VIVERO. ....	45
<b>FIGURA 13:</b> PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA DE SEMILLAS GERMINADAS CAFÉ (COFFEA ARABICA L.VAR.TYPICA) PROCEDENTE DE CHAUPIMAYO Y SANTA TERESA IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A 50,100,150 GY Y TRATAMIENTO CONTROL A LOS 84 DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA EN LABORATORIO. ....	46

<b>FIGURA 14:</b> PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA DE SEMILLAS GERMINADAS DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L.VAR.TYPICA) PROCEDENTES DE CHAUPIMAYO Y SANTA TERESA IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A 50, 100, 150 GY Y TRATAMIENTO CONTROL A LOS 112 DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA EN CASA MALLA.....	47
<b>FIGURA 15:</b> PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE CAFÉ VAR. TYPICA IRRADIADA CON RAYOS GAMMA CON 100 GY Y EL TRATAMIENTO CONTROL A LOS 44 DDS EN GERMINADORES EN VIVERO. FUNDO LA GÉNOVA. SAN RAMÓN. ....	48
<b>FIGURA 16:</b> EVOLUCIÓN DE LAS FASES DE DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE CAFÉ VAR. TYPICA, 30 DÍAS DESPUÉS DEL REPIQUE, OBTENIDAS CON SEMILLAS IRRADIADAS CON 100GY Y UN TRATAMIENTO CONTROL EN CONDICIONES DE VIVERO. ....	49
<b>FIGURA 17:</b> VALORES MEDIOS DE ALTURA DE PLÁNTULA, DIÁMETRO DE TALLO, NUMERO DE HOJAS, LONGITUD Y ANCHO DE HOJAS Y DISTANCIA AL PRIMER NUDO DE PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA, PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA EN LA DOSIS DE 100GY Y UN TRATAMIENTO CONTROL A LOS 136 DDR.....	50
<b>FIGURA 18:</b> FORMA DE HOJA EN PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA EN UNA POBLACIÓN M1, PROVENIENTES DE SEMILLAS TRATADAS CON 100GY, COMPARADA CON UN TRATAMIENTO CONTROL EN CONDICIONES DE VIVERO. ....	52
<b>FIGURA 19:</b> MODIFICACIONES MORFOLÓGICAS DE HOJAS DE CAFÉ VAR. TYPICA OBSERVADAS EN UNA POBLACIÓN M1 IRRADIADA CON RAYOS GAMMA A LA DOSIS DE 100 GY EN CONDICIONES DE VIVERO. ....	53
<b>FIGURA 20:</b> MODIFICACIONES MORFOLÓGICAS DE HOJAS DE CAFÉ VAR. TYPICA OBSERVADAS EN UNA POBLACIÓN M1 IRRADIADA CON RAYOS GAMMA A LA DOSIS DE 100 GY EN CONDICIONES DE VIVERO. A-B) HOJA TIPO ORBICULAR CON BORDE IRREGULAR C) HOJA TIPO OBOVADA D) HOJAS TIPO OBCORDADA E-F) HOJAS IRREGULARES.....	54
<b>FIGURA 21:</b> MODIFICACIONES MORFOLÓGICAS DE HOJAS DE CAFÉ VAR. TYPICA OBSERVADAS EN UNA POBLACIÓN M1 IRRADIADA CON RAYOS GAMMA A LA DOSIS DE 100 GY EN CONDICIONES DE VIVERO. ....	55
<b>FIGURA 22:</b> MODIFICACIONES MORFOLÓGICAS DE HOJAS DE CAFÉ VAR. TYPICA OBSERVADAS EN UNA POBLACIÓN M1 IRRADIADA CON RAYOS GAMMA A LA DOSIS DE 100 GY EN CONDICIONES DE VIVERO.....	56
<b>FIGURA 23:</b> MODIFICACIONES EN EL COLOR DE HOJAS JOVENES EN PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA UNA POBLACIÓN M1 PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON RAYOS GAMMA A LA DOSIS DE 100GY Y EL TRATAMIENTO CONTROL EN CONDICIONES DE VIVERO. ....	57
<b>FIGURA 24:</b> MODIFICACIONES EN EL COLOR DE HOJAS JÓVENES EN PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA UNA POBLACIÓN M1 PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON RAYOS	

GAMMA CON DOSIS DE 100GY Y EL TRATAMIENTO CONTROL EN CONDICIONES DE VIVERO.....	58
<b>FIGURA 25:</b> MODIFICACIONES DE TIPOS DE ÁPICE DE HOJA EN PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA EN UNA POBLACIÓN M1, PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON 100GY EN CONDICIONES DE VIVERO.....	59
<b>FIGURA 26:</b> MODIFICACIONES DE TIPOS DE ESTÍPULAS DE HOJA EN PLANTAS DE CAFÉ VAR. TYPICA EN UNA POBLACIÓN M1, PROVENIENTES DE SEMILLAS IRRADIADAS CON 100GY EN CONDICIONES DE VIVERO.....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1:</b> SUPERFICIE COSECHADA DE CAFÉ PERGAMINO POR DEPARTAMENTOS	7
<b>CUADRO 2:</b> ETAPAS MORFOLÓGICAS DEL PROCESO DE GERMINACIÓN Y EL CRECIMIENTO DE SEMILLA/PLÁNTULA DE CAFÉ.	17
<b>CUADRO 3:</b> ESCALA BBCH ADAPTADA PARA DESCRIBIR LA FENOLOGÍA DE LA PLANTA DE CAFÉ	19
<b>CUADRO 4:</b> DOSIS DE RAYOS GAMMA POR TRATAMIENTO EN EL PRIMER EXPERIMENTO.	36
<b>CUADRO 5:</b> DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA POR TRATAMIENTO EN EL SEGUNDO EXPERIMENTO.	37
<b>CUADRO 6:</b> DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA POR TRATAMIENTO EN EL TERCER EXPERIMENTO.	38
<b>CUADRO 7:</b> DESCRIPCIÓN DE VARIABLES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS SEGÚN DESCRIPTORES DE CAFÉ.	39

## RESUMEN

El café (*Coffea arabica* L. var. *Typica*) es una especie de importancia económica en el Perú con una demanda creciente en el mercado nacional e internacional beneficiando la economía de los diversos actores involucrados. Entre los diversos factores limitantes del cultivo de café destaca la susceptibilidad de la mayoría de las variedades a la roya del café originada por el hongo *Hemileia vastatrix*. Existen diversas formas de control destacando entre ellas el desarrollo de variedades mejoradas resistentes.

La presente investigación fue realizada con el objeto de determinar la radiosensibilidad del café a los rayos gamma, el estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina en condiciones de laboratorio, casa de mallas y vivero. Semillas de café var. *Typica*, secas de diverso origen (Santa Teresa y Chaupimayo de Cuzco), fueron irradiadas con rayos gamma con las siguientes dosis: 50, 100, 150, 200 y 300 Gy y se consideró un testigo referencial sin irradiación. Se evaluó la radiosensibilidad a la radiación gamma mediante su efecto en la germinación, sobrevivencia y daños morfológicos en la generación M1. En semillas Chaupimayo la supervivencia en laboratorio fue 58, 45, 38 y 8% y en casa malla fue 42, 15, 7 y 0% para 0, 50, 100 y 150 Gy; respectivamente. La supervivencia en semillas Santa Teresa en laboratorio fue de 45, 32, 28 y 10% y en casa malla fue 29, 9, 6% para 0, 50, 100, 150 Gray respectivamente. En condiciones de vivero el porcentaje de germinación fue de 84 y 34% para el tratamiento 0 Gy y 100Gy respectivamente. En casa de malla, semillas de Santa Teresa y Chaupimayo presentaron una germinación de 0% a 150 Gy y en vivero se presentó un 3%, muy bajo con relación al testigo sin irradiar, que en laboratorio germinaron entre 70 -94%.

En las muestras tratadas con 200 y 300 Gy el porcentaje de germinación en laboratorio fue de 90 y 84%; respectivamente y con un testigo con 100% de germinación. En condiciones de casa malla fue 93 % para el testigo sin irradiar y 25 y 11% para 200 y 300 Gy. En condiciones de vivero, el testigo germinó en un 90% y las dosis de 200 y 300 Gray en 20 % y 10%; respectivamente; sin embargo en los tratamientos de 200 y 300 Gy no hubo sobrevivencia de plántulas.. En el material sobreviviente se observaron cambios morfológicos (forma de hoja, forma de ápice de hoja, color de hoja joven), diferencias en altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas por planta, longitud de hoja, ancho de hoja, distancia de cotiledón a primer nudo.

**Palabras clave:** radiosensibilidad, rayos gamma, café

## ABSTRACT

Coffee (*Coffea arabica* L. var. Typica) is a species of economic importance in Peru with a growing demand in the national and international market, benefiting the economy of the different actors involved. Among the various limiting factors of coffee cultivation is the susceptibility of most varieties to coffee rust originated by the fungus *Hemileia vastatrix*. There are several control methods, including the development of resistant improved varieties.

The research determined the radiosensitivity of coffee to gamma rays, developed at the National Agrarian University La Molina in laboratory, greenhouse and nursery conditions. Dry seeds of coffee var. Typica, diverse origin (Santa Teresa and Chaupimayo - Cuzco), were irradiated with gamma rays with the doses : 50, 100, 150, 200 y 300 Gray and control. The effect of radiosensitivity to gamma radiation was evaluated on germination, survival and morphological damage in the M1 generation. The survival of seeds chaupimayo in the laboratory was 58, 45, 38 y 8% and greenhouse was 42, 15, 7 y 0% for 0, 50, 100 and 150 Gy; respectively. The survival of seeds Santa Teresa in the laboratory was 45, 32, 28 y 10% and greenhouse was 29, 9, 6% for 0, 50, 100 and 150 Gy. In the nursery, the percentage of germination was 84% and 34% for the treatment 0 Gy and 100 Gy respectively. In the greenhouse, Santa Teresa and Chaupimayo seeds presented a germination of 0% at 150 Gy and in the nursery there was 3%, very low compared to the non-irradiated control. In seeds of coffee with 200 and 300 Gray the percentage of germination in laboratory was of 90 and 84%; respectively and control with 100% germination. In greenhouse it was 93% for non-irradiated and 25% and 11% for 200 and 300 Gray. In nursery conditions, the control germinated by 90% and the doses of 200 and 300 Gray in 20% and 10%; respectively; however, in the treatments of 200 and 300 Gray there was no survival of seedlings. In surviving plants, morphological changes were observed (leaf shape, leaf apex shape, young leaf color), differences in plant height, stem diameter, number of leaves per plant, leaf length, leaf width, distance of cotyledon to first knot.

**Key words:** radiosensitivity, gamma rays, coffee

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café (*Coffea arabica* L. var. Typica) es uno de los más importantes en el país, se cultiva en 11 departamentos, con una superficie de área cosechada a nivel nacional de 383 973 hectáreas (FAOSTAT 2016) y se estima que 223 mil familias se dedican a la siembra de café y otros dos millones de personas están incluidas en la cadena de producción de este grano (Junta Nacional del Café 2016). En el mercado mundial, el café peruano, en el 2011 representó el 3.9% de la producción y ello lo cataloga como relevante en la economía y la sociedad peruana. Sin embargo, la epidemia de la roya del café en el 2013, causó pérdidas importantes en todos los países productores. Por eso, según FAO en el 2016 el Perú representó el 3% de la producción mundial, reducción que se dio por efecto de la roya.

A pesar del éxito de los programas de mejoramiento de la roya del café en Colombia y Brasil (Van der Vossen 2009), hay evidencia de que algunas variedades comerciales mejoradas derivadas del Híbrido de Timor han perdido resistencia debido a la posible aparición de nuevas razas virulentas del patógeno (Várzea y Marques 2005; Alvarado 2005). La variabilidad en la virulencia de *Hemileia vastatrix* aparentemente se debe a procesos de mutación natural, pero también podría surgir de otros mecanismos de reproducción del hongo (Carvalho *et al.* 2011). Por lo tanto, los programas de mejoramiento han centrado esfuerzos en ampliar la base genética de las variedades comerciales de café (Castro-Caicedo *et al.* 2013).

La mayoría de los proyectos fitotécnicos de los Laboratorios de Seibersdorf del OIEA están orientados a desarrollar nuevos cultivares de plantas con mayor resistencia a las enfermedades y más tolerancia a las plagas que la planta original empleando la inducción de mutaciones. En cultivos tropicales existen antecedentes como: el control de la enfermedad del virus que causa el hinchamiento de los retoños del cacao ocurrido en Ghana. Control de la enfermedad de Panamá que afecta al banano, mediante el desarrollo de clones mutantes,

siendo el más importante "Grand Nain" cultivar de banano del desierto (Novak y Brunner 1992).

La inducción de mutaciones, se inicia con exponer el material vegetal (semillas o tejido) del cultivo elegido a diferentes dosis del agente mutagénico. Existe una lista de OIEA que menciona la dosis óptima para cada cultivo, sin embargo, no se menciona a todos los cultivos en la lista, ejemplo es el café (*Coffea sp*). Por ello, se realiza dosimetría para obtener un rango de dosis que genere mutaciones y permita la supervivencia de plantas irradiadas. Luego se realizan evaluaciones en la Generación M1 asociadas a daños somáticos por efecto de la radiación como es la germinación, sobrevivencia, el desarrollo de las plántulas y daños somáticos. En la generación M2 se evalúa los daños del ADN que determinan los tipos de mutaciones y en las siguientes generaciones se ratifica la herencia de las mutaciones, el grado de homocigosidad. En los mutantes seleccionados y homocigotas se evalúan caracteres agronómicos y de calidad asociados a una variedad mejorada.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Contribuir al mejoramiento genético del café (*Coffea arabica* L. var. Typica) mediante el uso de agentes mutagénicos físicos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar radiosensibilidad de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Typica) a los rayos gamma; mediante la evaluación de:

1.1. Efecto en la germinación y sobrevivencia en diferentes condiciones

1.2. Evaluar cambios morfológicos en plantas M1 de café (*Coffea arabica* var. Typica) en vivero.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 ORIGEN E HISTORIA

El café, se originó en las alturas de Kaffa, provincia de Etiopía, en el continente africano (Clay 2004, Rimache 2008) lugar donde existe uno de los más importantes bancos de germoplasma de café silvestre. Se estima que el cultivo a inicios del siglo VIII hasta el siglo XV, se mantuvo como un monopolio de los árabes en las cercanías del mar Rojo, en el principal puerto de ese entonces llamado Moca. Hubo una fuerte expansión hacia Yemen (ex Arabia del Sur) en el siglo XIV, y hacia el Oriente Medio durante el siglo XV (Anthony *et al.* 1999).

La primera introducción de café en Europa se dio en 1706, y sólo se introdujo una planta desde Java al jardín botánico de Amsterdam, a partir del cual se originaron la mayoría de variedades cultivadas actualmente en el mundo (Chevalier y Dagron 1928; Carvalho 1946). En 1715, el sultán de Yemen obsequió algunas plantas a Francia, que luego fueron enviadas a la Isla de Bourbon (hoy Isla de la Reunión) (Lashermes *et al.* 1996).

Las primeras introducciones de café al continente americano ocurrieron a inicios del siglo XVIII. En 1719, el cultivo se extendió rápidamente hacia la Guayana Francesa, luego en 1727 hacia Brasil (Chevalier y Dagron 1928). Según datos históricos la llegada de plantas de café a Lima fue en 1760, desde Guayaquil, cuando ésta formaba parte del virreynato del Perú. También existe información que señala que ya existían algunas plantas de café en Huánuco (Chinchao), aunque sin fecha exacta ni lugar de procedencia (Junta Nacional Café 2017).

Según estos reportes los cafés de Yemen dieron origen a dos tipos de café arábica: *Coffea arabica* L. var. *Typica* y *Coffea arabica* L. var. *Bourbon* que fue difundido a partir de la isla Bourbon (Krug *et al.* 1939; Carvalho *et al.* 1969). Ambas variedades fueron cultivadas en América Latina y de ellos se desarrollaron los cultivares actuales. Debido a su reducida base genética, son altamente susceptibles a plagas y enfermedades, presentan baja adaptabilidad a

nuevas condiciones de cultivo (Wilches 1995) y las posibilidades para el mejoramiento genético son también fuertemente limitadas (Anthony *et al.*2002). Sin embargo, son cafés con una excelente calidad de taza, característica que también es necesario tener en cuenta en el mejoramiento genético de esta especie.

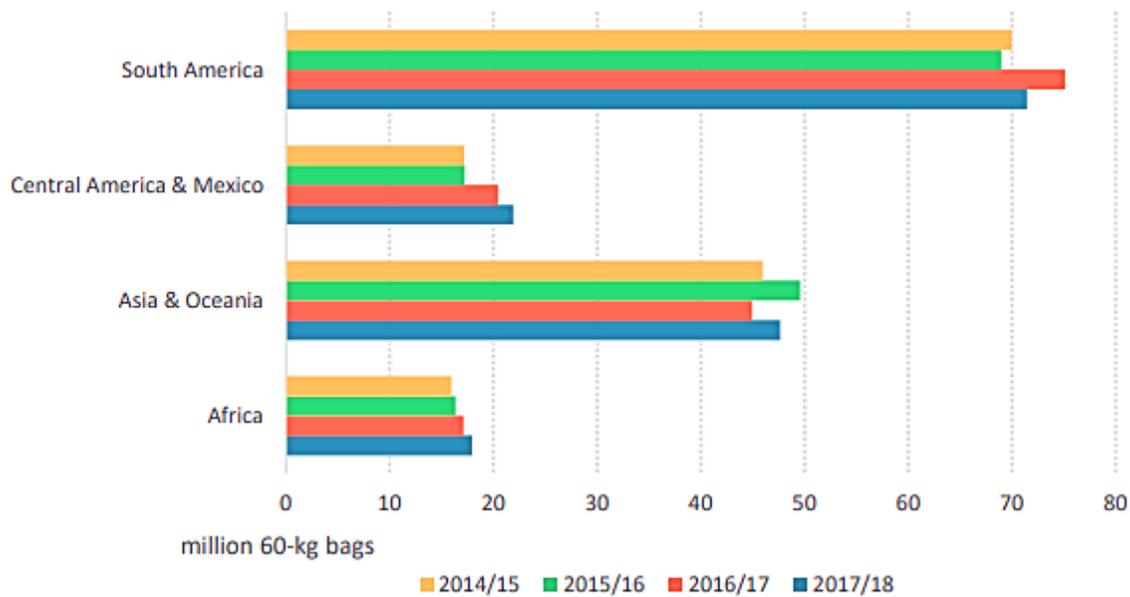
## **2.2 SITUACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ**

### **2.2.1 Café en el mundo**

El café es el segundo *commoditie* después del petróleo y su precio es determinado por las interacciones entre la oferta y la demanda en las Bolsas o mercados futuros más importantes del mundo, las cotizaciones difieren según la variedad de café (MINAGRI 2015). Las más importantes son la Bolsa de café, cacao y azúcar de Nueva York y mercado de café robusta de la Bolsa de materias primas de Londres (Libreros 1989).

En la Bolsa se define los precios según los tipos de café, con las siguientes categorías: las arábicas donde están los Suaves Colombianos y los otros Suaves (Ej:café peruano), las Arábicas Naturales Brasileños y Robustas.

En la Figura 1, se muestra la producción de Café en el mundo para los años 2015, 2016 y 2017. A nivel mundial los mayores productores de café son Brasil, Vietnam (considerado el mayor productor de café robusta) y Colombia (ICO 2018). El líder en producción de café es Sudamérica seguido de Asia y Oceanía.



**Figura 1:** Producción de café por continentes  
**Fuente:** Tomado de ICO 2018.

### 2.2.2Café en el Perú

Es el principal producto agrícola de exportación en el país y sustento económico de más de 223 mil familias de pequeños productores (PNUD 2017). Para el 2016 la superficie cosechada de café pergamino a nivel nacional fue de 383 973 hectáreas, localizadas en 17 regiones del país, el 98.6% de las plantaciones se encuentran en sólo diez departamentos: Junín, San Martín, Cajamarca, Cusco, Amazonas, Huánuco, Pasco, Ayacucho, Puno y Piura (Solidaridad 2016).

En el Cuadro 1 se presenta información sobre la superficie cultivada en el Perú para el año 2016

**Cuadro 1:** Superficie cosechada de café pergamino por departamentos

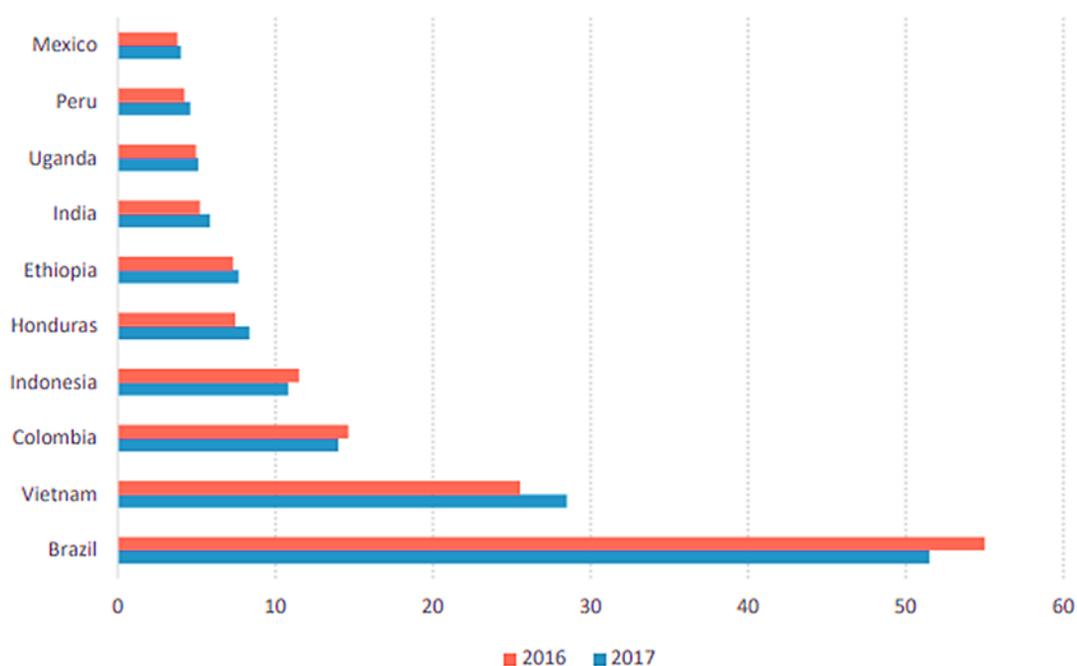
Departamento	Superficie cosechada (hectareas)
San Martín	87 163
Junín	79 808
Amazonas	53 258
Cajamarca	53 038
Cusco	50 402
Huánuco	16 202
Puno	10 858
Pasco	10 794
Piura	7 979
Ayacucho	5 866

**Fuente:** Tomado de SEPA-MINAGRI 2016

La producción se basa en variedades Typica, Bourbon, Pache, Caturra y Catimor (Infocafé 2017). Según el Ministerio de Agricultura y Riego, en el año 2011 el rendimiento nacional de café fue de 903 kg/ha y la producción nacional de 331.5 miles toneladas. Sin embargo, en el 2013, los principales valles productores fueron afectados por roya amarilla. Se registró 290 156.23 hectáreas afectadas, disminuyendo la producción nacional a 222 miles toneladas (INDECI 2014). Por ello, el MINAGRI desarrolló el Plan Nacional de Renovación de Cafetales (PNRC) e invirtió más de US\$ 122 millones durante el período 2013-2016, que logró la instalación de más de 37 200 hectáreas de plantaciones de café. Principalmente, se sembró la variedad Catimor, resistente a roya, pero carece de buena calidad en taza (Díaz y Carmen 2017).

### 2.2.3 Exportación de café peruano

En los últimos años, el café peruano se ha posicionado en el mercado mundial ocupando el noveno puesto de los países productores (Figura 2). El potencial de exportación peruano es 4.9 millones de sacos de café (sacos 60kg café pergamino o verde), pero tras el impacto de la roya en los años 2013-2014, se contrajo a 3.1 millones, tras cuatro años el potencial peruano de exportación de café se está recuperando. Para el 2018, las exportaciones superarán los 3.9 millones de sacos (60kg). Siendo nuestros principales compradores Estados Unidos, Alemania, Bélgica y Korea (CPC 2017), sabiendo que, en el 2017, la exportación de café grano fue 4 millones de sacos (AGRODATAPERÚ 2018).



**Figura 2:** Producción de los 10 principales productores de café en el mundo

**Fuente:** Tomado de ICO 2018.

El café peruano atiende tres demandas, la primera y más importante es el café mainstream o convencional que representa el 80% de exportación. Segundo, los cafés certificados con un 17.5% de las exportaciones, aquí destacan los estándares orgánicos, comercio justo, Rainforest y UTZ y tercero, el de nicho o especialidad, son cafés de alta calidad o Gourmet, el cual representa el 2.5% de las exportaciones (CPC 2017). La diversidad de combinaciones de climas, suelos, precipitación y luz solar constituye un escenario propicio para el cultivo del café que le permite tener distintos perfiles de sabor, aroma y acidez (Expocafé 2017).

### **2.3 TAXONOMÍA**

La clasificación taxonómica del cafeto, según la nueva clasificación cladística del café (APG III, 2009) es la siguiente:

Clado: Eudicotiledóneas

Clado: Astéridas

Clado: Euastéridas

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Especie: *Coffea arabica* L.

Nombres Comunes: “cafeto”, “café”

### **2.4 DIVERSIDAD GENÉTICA DE CAFÉ**

De acuerdo al número cromosómico el género *Coffea* se divide en dos grupos, el grupo de las especies diploides ( $2n=22$  cromosomas) conformado por *C. canephora*; *C. liberica*; *C. stenophylla*; *C. racemosa* y el grupo de los tetraploides ( $2n=4x=44$  cromosomas) conformado por *C. arabica* (Regalado 2006). La especie alotetraploide es producto de una cruce interespecífica natural entre dos especies diferentes con un número básico de cromosomas  $x=11$  (Ignacio 2007). Señalan que *Coffea arabica* es una especie anfidiplóide, resultado de una hibridación natural entre dos especies diploides convergentes, *C. canephora* y *C. eugenioides*, resultado de un análisis de citogenética molecular (Lashermes *et al.* 2000).

Es evidente que la base genética del café cultivado es estrecha, debido a que proviene principalmente de *C. arabica* y *C. canephora*, y en escala muy limitada de *C. liberica* (León 2000). Sólo en algunos lugares como Mozambique aún se cultiva la especie *C. racemosa* (Anthony *et al.* 1999). Parte de los recursos genéticos se encuentran conservadas en los bancos de germoplasma de café en el mundo, los principales bancos están localizadas en Camerún, Colombia, Costa Rica, Etiopía y Madagascar (Dulloo *et al.* 2001) donde existen los materiales silvestres y semi-silvestres que constituyen importantes fuentes de diversidad genética del café, principalmente para América Latina debido a su origen restringido y a su alta tasa de autopolinización (Wellman 1961).

## **2.5 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

El cafeto es una planta arbustiva dicotiledónea de naturaleza perenne, cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza entre 20 a 25 años dependiendo de las condiciones o del sistema de cultivo (Arcila *et al.* 2007). Son arbustos de producción anual (Coronel 2010) que en su estado silvestre puede alcanzar los 10 metros de altura. Sin embargo, comercialmente alcanza 3 metros de altura, lo cual facilita la cosecha (Temis-Pérez *et al.* 2011).

### **2.5.1 Raíz**

El sistema radical típico de un cafeto bien desarrollado es de una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple, que disminuye su diámetro abruptamente y que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad (Nutma 1933; Figueroa 1990).

Según Suárez de Castro (1953) la mayor cantidad de raíces activas del cafeto se encuentra muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, y se extiende entre 1 y 1,5 m desde el tronco. Otras investigaciones refieren que más del 80% de estas raicillas se encuentran en los 30 cm superiores del suelo, en un radio a partir del tronco que en la planta adulta fluctúa entre 2.0 y 2.5 m (León 2000). Arcila *et al.* (2007) menciona que en los primeros 30 cm de profundidad se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un

89,9% de las raíces totales del cafeto. Esto significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrimentos a esta profundidad del suelo, por lo que se explica la efectividad de la fertilización al voleo.

### **2.5.2 Tallo**

Es leñoso, erecto y de longitud variables de acuerdo con el clima y tipo de suelo; en las variedades comerciales varían entre 2 y 5 metros de altura. Planta provista de un eje central, que presenta en su extremo una parte meristemática en crecimiento activo permanentemente que da lugar a la formación de nudos y entrenudos. (Sotomayor 1993) y un par de hojas o un nudo se origina en promedio cada 25 ó 30 días (Arcila *et al.* 2007).

En una planta adulta la parte inferior es cilíndrica, mientras que la parte superior(ápice) es cuadrangular y verde, con esquinas redondas y salidas. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, ramas y hojas (Alvarado y Rojas 2007).

### **2.5.3 Ramas**

Las ramas laterales tienen un punto apical de crecimiento que va formando nuevas hojas y entrenudos. El número de estos puede variar de un año a otro y consecuentemente, las axilas que se forman dan origen al número de flores y por ende a los frutos (Alvarado y Rojas 2007).

Las ramas plagiotrópicas se alargan en forma permanente, lo que sumado al crecimiento vertical le da una forma piramidal a la planta. En cambio, las ramas ortotrópicas permiten el crecimiento vertical de las plantas y sólo producen yemas vegetativas y nunca flores (León 2000). En un año se forman aproximadamente de 12 a 14 pares de ramas primarias o cruces (Arcila *et al.*2007).

#### **2.5.4 Hojas**

Las hojas aparecen en las ramas plagiotrópicas en un mismo plano y en posición opuesta, rodeadas por 2 estípulas agudas. La lámina es delgada fuerte y ondulante; mide de 12 a 24 cm. de largo por 5 a 12 cm. de ancho y su forma varía de elíptica a lanceolada (León 1962). El tamaño de la hoja no sólo varía entre especies y cultivares, sino también de acuerdo con las condiciones de sombra o plena exposición de sol a que este sometida (Alvarado y Rojas 2007).

La cara superior de la lámina es verde oscuro, brillante con las nervaduras hundidas; la inferior es verde claro, con las nervaduras prominentes (León 1962) y tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior (Gómez *et al.*2010).

#### **2.5.5 Flor**

Las flores del cafeto se forman en las yemas ubicadas en las axilas foliares, en los nudos de las ramas. Cada flor posee los cuatro tipos de estructuras que caracterizan a una flor completa y perfecta: dos estructuras estériles que son el cáliz y la corola, y dos estructuras fértiles que son los carpelos (ovario – estilo - estigma) y los estambres (Arcila 2004).

Es importante mencionar que las flores se abren en las primeras horas de la mañana, pero las anteras emiten polen antes de la antesis. En esta especie, no hay mecanismos conocidos de autoesterilidad, se puede asumir que la autofecundación es normal ;el polen alcanza los óvulos en pocas horas y la fertilización se completa en cuatro o seis días (León 1987).

#### **2.5.6 Fruto**

El fruto maduro es una drupa elipsoidal en los cultivares comerciales, ligeramente aplanada, cuyos tres ejes principales miden entre 12 y 18 mm de longitud, 8 y 14 mm de ancho y 7 y 10 mm de espesor (Alvarado y Rojas 2007). Es de color verde durante los primeros meses para pasar en la maduración por distintas tonalidades que van de amarillo a rojo, según la especie y zona de cultivo (Bolívar 2009).



### **2.6.2 Temperatura**

La temperatura óptima para el crecimiento del café está alrededor de los 21°C, con límites inferior de 10°C y superior de 32°C; por fuera de estos el crecimiento de la planta es nulo (Jaramillo y Guzmán 1984). Según Wintgens (2004) la temperatura media óptima *C. arábica* es de 18°C durante la noche y 22°C durante el día. El cafeto tolera extremos de temperatura de 15°C durante la noche y 25 a 30°C durante el día.

### **2.6.3 Precipitación**

La disponibilidad de agua incluye la precipitación y la humedad atmosférica, de los cuales la lluvia es el factor más limitante para el cultivo de café. El régimen de lluvias debe incluir unos pocos meses con poca o ninguna lluvia ya que este periodo es necesario para inducir la floración. Un total de precipitación anual entre 1400 y 2000 mm es favorable para café arábica, por debajo de 800 a 1200 mm para arábica, aunque sean bien distribuidas pueden ser peligrosas porque afectan la productividad de las plantaciones (Wintgens 2004).

### **2.6.4 Humedad relativa**

La humedad relativa es la cantidad de agua en forma de vapor, que está presente en el aire a una temperatura dada. En general, el cafeto requiere humedades relativas entre 60% y 70% ya que humedades altas promueven enfermedades fungosas y proliferan las plagas (SCAN 2015).

### **2.6.5 Características del suelo**

Las plantas de café prosperan en suelos aluviales y coluviales, con una textura favorable como suelos sueltos y profundos, franco arenoso o franco arcilloso (Wintgens 2004). El pH óptimo es de 5 a 6 y materia orgánica mayor de 4% (Valencia 1999).

## 2.7 FISIOLÓGÍA DE CAFÉ

### 2.7.1 Características de la semilla

La semilla de café es elíptica o en forma de huevo, planoconvexa, que posee un surco longitudinal en la superficie superior (Dedecca 1957). La cubierta exterior de la semilla está formada por un endocarpio marrón pálido duro que se convierte en el "pergamino" después de secado. El endocarpio contiene una semilla cerrada, que tiene una testa delgada y verde conocida como el espermodermo o "piel plateada", que es un remanente del perispermo (Mendes 1941). En términos de composición química, el endospermo contiene proteínas, lípidos y minerales (Dentan 1985), pero las principales reservas de almacenamiento poseen altos niveles de polisacáridos, celulosa y hemicelulosas comúnmente depositadas en las paredes celulares (Wolfrom *et al.*, 1961, Wolfrom y Patin 1964, Silva *et al.* 2004).

Todas las semillas presentan tolerancia a la desecación tras su disseminación. Según esta característica, las semillas se pueden clasificar en ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Las semillas ortodoxas toleran una deshidratación hasta de 5% en el contenido de humedad; por su parte, las semillas que toleran la deshidratación entre 10% y 12,5% de contenido de humedad se consideran intermedias y las que toleran la deshidratación entre 15% y 50% de humedad se denominan recalcitrantes (Farrant *et al.* 1993, Gentil 2001).

Un cultivo con semillas que pueden presentar una conducta de almacenamiento intermedio es *Coffea sp.* (Dussert *et al.* 1998, Eira *et al.* 2006). El contenido de humedad mínimo que toleran las semillas de *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica* sin reducir su viabilidad, es de aproximadamente 9, 11, y 24% respectivamente (Gentil 2001, Eira *et al.* 2006) a diferencia de las semillas de *C. costatifructa*, *C. racemosa* y *C. sessiliflora* las cuales mostraron un nivel crítico de humedad de semilla de 19, 30 y 30%, respectivamente (Dussert *et al.* 1998).

Otra característica de la semilla de café es la pérdida rápida de su viabilidad cuando se almacena con un contenido alto (35-40%) o bajo (12-15%) de humedad en una atmósfera no controlada, ya que después de cinco meses en estas condiciones, el poder germinativo es menor del 60% (Valencia 1970).

### **2.7.2 Germinación de semilla de café**

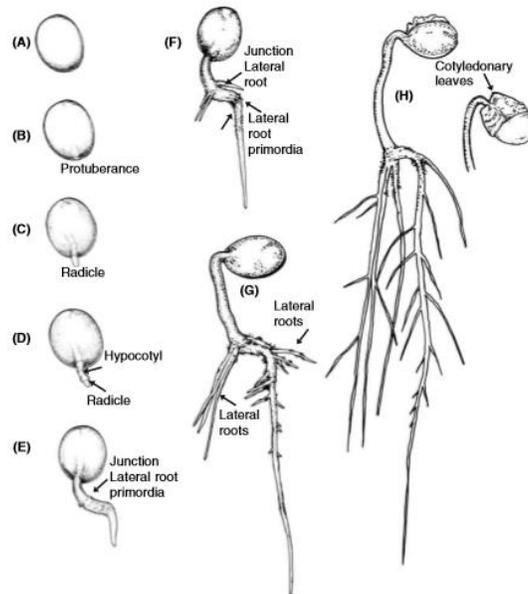
La capacidad de las semillas para germinar depende del grado de tolerancia a la pérdida de agua, al tiempo y las condiciones de almacenamiento (Berjak y Pammenter 2004). Un rasgo no deseado de semillas de café es una germinación lenta y asincrónica, lo que dificulta la obtención de plántulas de calidad deseable. Además, esta germinación dificulta la viabilidad rápida y / o las evaluaciones de vigor debido al tiempo excesivo requerido para obtener resultados (Rosa *et al.* 2010).

En el Cuadro N° 2 y Figura N° 4 se presentan las diferentes etapas morfológicas que se observan en la germinación y los estados iniciales de crecimiento del café.

**Cuadro 2:** Etapas morfológicas del proceso de germinación y el crecimiento de semilla/plántula de café.

Índice de etapa	Fases	Descripción	Tiempo aprox (días)
I-1	Imbibición 1-Semilla embebida	Semilla completamente embebida sin protuberancia visible en el casquillo del endosperma.	3
I-2	Imbibición 2-Visible protuberancia	Semilla con una protuberancia visible en el endospermo, donde el ápice de la raíz se puede detectar dentro de la endospermo, sin penetración en la capa externa de endosperma	5
G	Semilla germinada	La radícula sobresale a través de la capa externa del endosperma; la germinación de <i>sensu stricto</i> se completa.	7
S-1	Planta de semillero 1- Eje de raíz de hipocótilo	Aparición del hipocótilo con un distintivo color rosado y la radícula blanca con forma de flecha.	9
S-2	Planta de semillero 2	Tanto la radícula como el hipocótilo son más grandes y la raíz primordios aparecen en la unión entre el hipocótilo y raíz primaria.	12
S-3	Plántula 3	El crecimiento de las raíces laterales ocurre en la unión entre el hipocótilo y la raíz primaria; más raíz primordios y pelos radiculares se encuentran en la superficie de la raíz primaria.	15
S-4	Plántula 4- Raíces laterales	La plántula posee una raíz primaria bien definida y raíces laterales; pubescencia de raíz se observan a lo largo de la superficie de la raíz , excepto en el ápice de la raíz.	20 a 30
S-5	Plántula 5-Hojas de cotiledón	Las hojas cotiledonarias se abren y la raíz primaria y las raíces laterales continúan creciendo, aumentando de tamaño y número.	45

**Fuente:** Adaptado de Rosa *et al.*2010.



**Figura 4:** Etapas de germinación y crecimiento de las plántulas de café

(A) Imbibición 1: semilla totalmente embebida; (B) Imbibición 2-visible protuberancia en la tapa del endospermo; (C) Semilla germinada-aparición de la radícula; (D) La plántula 1-radícula posee una forma de flecha y la aparición de hipocótilo; (E) Plántula 2- los primordios de la raíz aparecen en la unión entre el hipocótilo y la raíz primaria; (F) Plántula 3- crecimiento de raíces laterales y aparición de primordios de raíz y pelos radiculares en la superficie de la raíz primaria; (G)Plántula 4-Raíces primarias de la raíz y laterales definidas; (H) Plántulas 5- hojas cotiledonarias abiertas.

**Fuente:** Tomado de Rosa *et al.*2010.

Arcila *et al.* (2001) propone la escala BBCH ampliada de la planta de café (escala universal de etapas de desarrollo para los cultivos ), escala universal que establece una única codificación decimal uniforme para describir los estados de crecimiento del cultivo (Cuadro N° 3). En la planta de café incluye 10 estados principales que se codifica de 0 a 9 que permite describir la fenología del cafeto.

**Cuadro 3:** Escala BBCH adaptada para describir la fenología de la planta de café

Estado	Descripción
Estado 0	Germinación
Estado 00	Semilla seca, es aquella con remoción de la pulpa, mucílago y secado con una humedad de semilla de 11-12 %, de color amarillo o verde azulado si se ha trillado, es decir si se ha retirado el pergamino y la película plateada.
Estado 03	Después de la primera semana se completa la imbibición y la semilla aparece hinchada, de color blanquecino y la radícula no es visible.
Estado 05	Después de 3 semanas se observa que la radícula brota de la semilla y aparece curvada.
Estado 06	Elongación de radícula y empieza a formarse los primeros pelos de la raíz.
Estado 09	Emergencia, las semillas han surgido desde el suelo y se ven los hipocotilos con los cotiledones emergiendo a través del pergamino. A las 7 semanas cerca del 90% de los hipocotilos emergen del suelo (emergencia).
Estado 1	Desarrollo foliar en almácigo
Estado 10	Nueve semanas después de sembrada la semilla los cotiledones se observan completamente expandidos y el primer par de hojas verdaderas comienza a separarse del ápice.
Estado 11	Primer par de hojas abiertos, pero sin alcanzar su tamaño final, de color bronce o verde dependiendo del cultivar
Estado 12	Dos pares de hojas abiertos, pero sin alcanzar su tamaño final
Estado 13	Tres pares de hoja abiertas sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde oscuro
Estado 14	Cuatro pares de hoja abiertas sin alcanzar su tamaño final
Estado 19	Nueve o más par de hojas
Estado 2	Formación de ramas (Sólo plantas en campo)
Estado 3	Elongación de ramas
Estado 4	Desarrollo de órganos vegetativos
Estado 5	Inflorescencia-flor
Estado 6	Floración
Estado 7	Desarrollo de fruto
Estado 8	Maduración de fruto
Estado 9	Senescencia

**Fuente:** Adaptado de Arcila 2001.

## **2.8 VARIEDADES DE CAFÉ**

Las variedades de café más cultivadas en el país son Caturra, Typica, Catimor Bourbon y Pache, de la especie *Coffea arábica* (CCCP 2011). Para el 2017, la producción del país se define en Typica (70%), Caturra (20%) y otras (10%) (Expocafé 2017).

### **2.8.1 Typica**

Es uno de los cafés más importantes cultural y genéticamente de *C. arábica* en el mundo. Presenta muy alta susceptibilidad a roya y se adaptada a las condiciones más frías. Son plantas de porte alto, con muy buena calidad de taza, el tamaño de frutos es grande. La primera cosecha es al año 4 y de requerimientos nutricionales media (WCR 2018). Es una planta de entrenudos largos, hojas elípticas y alargadas (Orozco 1986). Es de baja productividad y acentuado comportamiento bienal en su producción y existen nichos especiales de mercado por su excepcional calidad de taza (Anacafé 2014). En zonas cafetaleras tecnificadas, esta variedad tiende a desaparecer por su baja producción y su alta susceptibilidad a ciertas plagas (López 2006).

### **2.8.2 Paché**

Es una mutación natural de Typica, originaria de Guatemala. Son plantas de porte bajo con buena ramificación secundaria, de entrenudos cortos y abundante follaje, termina en una copa bastante plana o “pache”, comportamiento de producción bienal y soporta suelo arcilloso (Anacafé 2014). El tamaño del fruto es grande, el potencial de calidad mostrado en altura es bueno. Es susceptible a roya, antracnosis y nematodos. En Perú, la altitud recomendada es de mayor de 1400 msnm. La primera cosecha es a los 4 años y a nivel de requerimientos nutricionales es media (WCR 2018).

### **2.8.3 Borbón**

Es uno de los cafés más importantes cultural y genéticamente de *C. arábica* en el mundo, por su excelente calidad de bebida a mayor altitud. Debido a su porte alto es más susceptible a vientos fuertes y con riesgos de caída de frutos por lluvias. (Anacafé 2014). Se caracteriza por entrenudos más cortos que Typica y hojas más redondeada, onduladas y brillantes (García 2016, Orozco 1986). Su calidad de taza es muy buena. Es susceptible a roya del café, antracnosis de la cereza y nematodos, también de maduración precoz de sus frutos (WCR 2018). Por otro lado, los frutos son drupas de forma elipsoidal, por sus dimensiones son consideradas grandes al igual que sus semillas. (López 2006, Zamarripa y Escamilla 2002).

### **2.8.4 Caturra**

Es una mutación natural de la variedad Borbón, originaria del Brasil. Planta compacta y de porte bajo, los frutos son de tamaño promedio. Es susceptible a roya, antracnosis de la de cereza y nemátodos. La primera cosecha es al año 3(WCR 2018). Es una variedad de alta producción y buena calidad de taza, requiere buen manejo cultural y exigente fertilización (Anacafé 2014). Su característica más notoria es la longitud de los entrenudos, que son más cortos que las variedades Borbón y Typica (Orozco 1986).

### **2.8.5 Catimor**

Es una variedad desarrollada por introgresión, porque poseen algunos rasgos genéticos de otra especie, en este caso de *C. canephora* o Robusta. En la década de 1920, una *C. arábica* y una *C. canephora* en la isla de Timor Oriental se reprodujeron sexualmente para crear un nuevo material, que ahora se conoce como Híbrido de Timor, el cual permitió que las plantas presenten resistencia a la roya de café (WCR 2018). Los cruzamientos del Híbrido de Timor con las variedades Caturra y Villa Sarchí fueron realizados en Portugal, en el CIFC (Várzea 2015). La descendencia del cruzamiento de Caturra (*C. arábica*) por el Híbrido de Timor CIFC 832/1 se les conoce genéricamente como “Catimores”. La resistencia del Híbrido de

Timor y sus derivados es de tipo “vertical” o completa, y en consecuencia menos duradera en el tiempo (Anacafé 2014).

## **2.9 MEJORAMIENTO GENÉTICO**

El mejoramiento vegetal ha contribuido y contribuye al desarrollo de la agricultura desde el inicio de esta hasta la actualidad empleando métodos convencionales y nuevas técnicas biotecnológicas modernas. El mejoramiento genético convencional basado en la aplicación de los principios genéticos clásicos relativos al fenotipo o características físicas del organismo en cuestión, ha logrado introducir en cultivares características procedentes de variedades domesticadas o silvestres afines o de mutantes (ChileBio 2017).

También el mejoramiento genético moderno o biotecnología, hacen uso de herramientas que actúan sobre características específicas del genoma del cultivo. Ambas líneas de mejoramiento tienen como objetivo fundamental en aumentar la adaptabilidad y productividad de las variedades, así como incrementar la resistencia a las enfermedades, estrés hídrico de las plantas y otras características.

## **2.10 MUTACIÓN**

El mejoramiento vegetal por mutaciones ha sido ampliamente utilizado para la mejora de caracteres de diversos cultivos. Es una potente y eficaz herramienta en las manos de fitomejoradores, especialmente para cultivos autógamos que tienen estrecha base genética (Micke 1988).

Las mutaciones son alteraciones o daños de la secuencia usual del ácido desoxirribonucleico (DNA) de un organismo que resultan de la acción de agentes físicos, químicos o naturales como un error en la reproducción del DNA (De la Cruz 2011, Doná *et al.* 2013). Además, son cambios heredables que incrementan la variación genética y permiten los procesos de selección y evolución (Watkin 1965). El ADN de un organismo influye en su aspecto físico, en su comportamiento y en su fisiología. Por lo tanto, un cambio en el ADN de un organismo puede producir cambios en todos los aspectos de su vida.

## 2.10.1 Tipos de mutación

Las mutaciones se pueden agrupar en dos grupos

### 2.10.1.1 Por su origen

Las mutaciones se clasifican según su origen en espontáneas o inducidas.

Una mutación espontánea es aquella que ocurre en la naturaleza, mientras que una mutación inducida es la que resulta de la acción de un agente mutagénico o mutágeno aplicado artificialmente. Las tasas de mutaciones inducidas son muy distintas a las espontáneas. En estas últimas oscila entre  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$  en microorganismos y entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  en plantas y animales; mientras que con tratamientos de mutaciones inducidas se puede conseguir una tasa tan alta como se quisiera, pero existe el riesgo de causar tantas mutaciones de que el organismo llegue a no sobrevivir (Cubero 2003).

### 2.10.1.2 Por la cantidad de ADN

Elliot (1964), clasifica las mutaciones en tres tipos: aquellas en las que ocurre cambio en la estructura química del gen (mutación genética), las que implican alteraciones cromosómicas (translocaciones, inversiones, duplicaciones) y las que implican cambios en el número de cromosomas.

#### a) Mutación génica

Fita *et al.* (2008) menciona a la mutación génica como cualquier cambio heredable producido dentro de los límites de un gen. Como resultado aparecen nuevas formas alternativas de un mismo gen, o lo que es lo mismo, nuevas variantes alélicas distintas a las preexistentes.

Tipos de mutación génica:

- Sustitución

Una sustitución es una mutación que intercambia una base por otra. Las sustituciones pueden ser transiciones (cambio de una purina por otra purina, o una pirimidina por otra pirimidina) o transversiones (cambio de una purina por una pirimidina o viceversa).

- Inserción

Es una mutación en la que una nueva base es insertada en la cadena del ADN.

- Supresión

Las supresiones son mutaciones en la que una sección de ADN se pierde o es eliminada.

#### b) Mutación cromosómica

Las mutaciones cromosómicas o aberraciones cromosómicas se presentan como inversiones o traslocaciones homocigóticas o heterocigóticas, centrales o terminales; duplicaciones parciales o totales; fragmentaciones de uno o de los cromosomas homólogos; y deficiencias de uno o más pares de genes.

Algunas mutaciones cromosómicas darán lugar a un cambio en el orden lineal de los genes, lo cual causa cambios en el fenotipo, porque se altera la secuencia de las reacciones enzimáticas de los genes o la interacción de éstos respecto al lugar para la expresión de un carácter o respecto al tiempo en que se debe desarrollar ese carácter (Robles 1986).

#### c) Cambios de ploidía

Los cambios de ploidía son cambios en el número de cromosomas, estos cambios se pueden clasificar en: aneuploides y euploides. Los aneuploides se caracterizan por tener cromosomas de más (hiperploide) o cromosomas de menos (hipoploide) en células o en individuos diploides. Los euploides se caracterizan por variación en el número de juegos cromosómicos, si disminuye el juego cromosómico se denomina haploidía y si aumenta es poliploidía.

## 2.11 AGENTES MUTAGÉNICOS

Los agentes mutagénicos son de gran importancia en el mejoramiento vegetal pues aumentan la variabilidad genética y las posibilidades de identificar genotipos superiores (García *et al.* 2010). Las condiciones que debe reunir un agente mutagénico son: ser lo suficientemente efectivo sobre el material para causar cambios en su estructura y, al mismo tiempo, inocuo para el hombre. Además, la capacidad mutagénica del agente, se mide por la dosis letal media (DL50), dosis que mata al 50% de los individuos tratados (Cubero 2003).

Existen dos grandes grupos: mutágenos físicos y químicos.

### **2.11.1 Mutágenos físicos**

Dentro de estos mutágenos físico existen los tipos ionizantes y no ionizantes

Las radiaciones ionizantes (rayos gamma, rayos X, ultravioletas, partículas alfa y beta) tienen diferente poder de ionización y de penetración, producen radicales libres en las células, es decir, moléculas con electrones no apareados que son sumamente reactivas y que pueden alterar el ADN (Koolman 2004). Consisten en partículas altamente energéticas o radiaciones electromagnéticas que pueden separar (ionizar) al menos un electrón de un átomo o molécula. La capacidad ionizante depende de la energía de las partículas u ondas individuales que inciden, y no de su número. Las radiaciones no-ionizantes son la luz visible, rayos infrarrojos y radio, tipo de radiación electromagnética que no transporta suficiente energía por quantum para ionizar átomos o moléculas, es decir, para eliminar por completo un electrón de un átomo o molécula.

### **2.11.2 Mutágenos químicos**

Los mutágenos químicos, según Oliva (2004) pueden reconocerse como alquilantes, que transfieren grupos metilo o etilo a las bases nitrogenadas que entonces no podrán aparearse normalmente con sus bases complementarias, generando mutaciones; o como intercalantes que son agentes que se intercalan entre las bases nitrogenadas alterando la estructura del ADN. Cabe aclarar que dichos cambios producidos por las mutaciones pueden ser espontáneos (al tratarse de errores durante la replicación o recombinación del ADN) o inducidos (mediante el uso de agentes mutagénicos) (Koolman 2004). Se ha descubierto que cientos de agentes químicos que pertenecen a varios grupos, tales como agentes alquilantes, compuestos nitrosos, análogos de base, azida, colorantes de acridina, etc., producen actividad mutagénica en una variedad de organismos. Existen muchas sustancias con capacidad mutagénica, sin embargo, los más utilizados con fines prácticos son los denominados supermutágenos, entre ellos varios agentes alquilantes y la azida sódica, que pueden aumentar varios cientos de veces las tasas de mutación espontánea. Un mutágeno muy

eficiente en algunas plantas cultivadas, como cebada, arveja, trigo y arroz, es la azida sódica pero no se ha visto como mutagénica en mamíferos y por lo tanto desde el punto de vista de la bioseguridad, no sería peligrosa en humanos, más allá de su reconocida toxicidad como veneno de la respiración oxidativa.

## **2.12 RAYOS GAMMA**

La radiación ionizante es una herramienta poderosa en el campo de la agricultura, ciencias y tecnología de alimentos, que se utilizan con frecuencia para abordar problemas de seguridad microbiológica y almacenabilidad de alimentos (Jayawardena y Peiris 1988). Actualmente, los rayos gamma se usan predominantemente en situaciones en las que se requiere un alto nivel de esterilización. Tratamientos de radiación gamma son ampliamente utilizados para eliminar la contaminación microbiana, control plagas de insectos y patógenos, actuando así en la prevención de enfermedades. Además de los problemas de seguridad, la irradiación gamma también se usa para retrasar la maduración de frutos y brotación vegetal, al dificultar la activación enzimática clave, lo que contribuye a una vida útil prolongada de la cosecha (Mokobia y Anomohanran 2005, Moussa 2006).

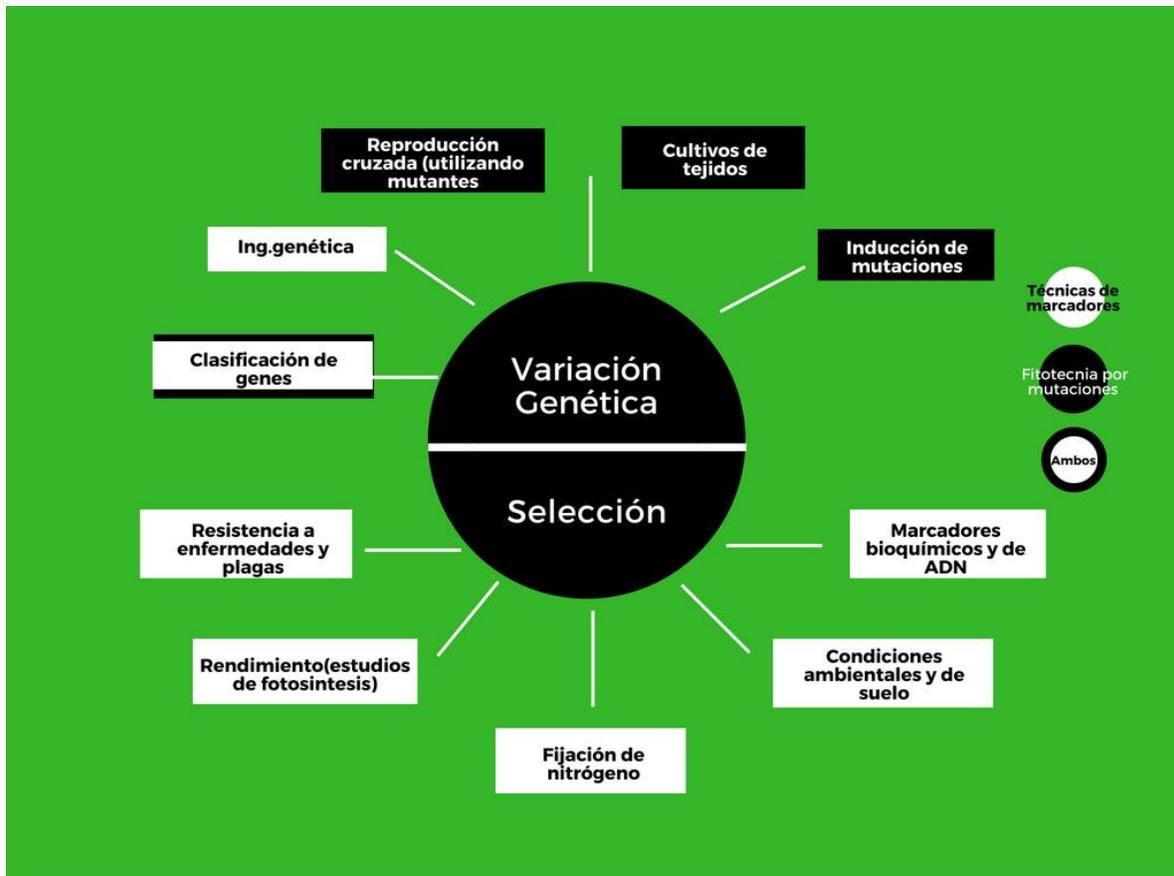
Los rayos gamma son una radiación ionizante de alta energía, capaz de penetrar e interactuar con los tejidos vivos (Araujo *et al.* 2016), es una herramienta mutagénica efectiva para inducir nuevos rasgos en cultivos comercialmente valiosos y desarrollar nuevas variedades (Irfaq y Nawab 2001), y para crear variaciones genéticas en germoplasma de base estrecha (Datta 2009) como *Coffea arabica* 90% autogama (Arcila *et al* 2001) . Los rayos gamma interactúan directamente con los componentes celulares en niveles múltiples, alcanzando membranas, proteínas y ácidos nucleicos (Kovács y Keresztes 2002). De los más de 2700 variedades de mutantes que han sido liberados en todo el mundo, 64% fueron creados a través de exposición a rayos gamma, el 22 % a través de la exposición a los rayos X y el resto por otros tratamientos mutagénicos (Ahloowalia *et al.*2004, Shu y Lagoda 2007). Las mutaciones se dan al azar en el genoma de la planta y luego se seleccionará los individuos que presenten las características deseadas.

Los rayos gamma, son emitidos por cobalto radiactivo o radioisótopos que causan daños en células vegetales y suelen utilizarse para irradiar plantas completas o parte de estas, incluyendo el polén (Poehlman y Sleper 2003). Por lo general, se administra por medio de fuentes Cobalto-60 (Moussa, 2006), al exponer un sistema biológico a la radiación ionizante se activa una serie de pasos físicos y químicos entre la absorción inicial de energía y la lesión. Sin embargo, una acción indirecta informa la generación de oxígeno reactivo (ROS) de la radio-lisis del agua (Borzouei *et al.* 2010, Esnault *et al.* 2010). Estos radicales pueden dañar o modificar componentes importantes de las células vegetales y afectar ciertos procesos fisiológicos y bioquímicos que podrían ser vitales para la supervivencia del organismo (Marcu *et al.* 2013).

### **2.13 INDUCCIÓN DE MUTACIONES**

La inducción de mutaciones es un proceso aleatorio que utiliza radiaciones o mutágenos químicos (Forster y Shu 2011), eficaz para lograr variaciones genéticas dentro de un tipo de cultivo, ya que ofrece la posibilidad de inducir características o fenotipos deseadas que no se pueden hallar en la naturaleza o se han perdido durante el proceso evolutivo (Novak y Brunner 1992). También como herramienta importante para aumentar la variabilidad en plantas reproducción autógama o polinización cruzada muy inferior (Micke 1988).

En el desarrollo de la inducción de mutaciones es necesario revisar información sobre los factores críticos que podrían determinar el espectro y la tasa de mutaciones inducidas. Incluyen el tipo de mutágeno, la dosis y la tasa de dosis administrada y el método de tratamiento, incluida la elección de los materiales, el tratamiento previo y posterior al tratamiento (Kodym *et al.* 2011). En la figura N° 5 se presenta un esquema de mejoramiento genético.



**Figura 5:** Esquema de mejoramiento de cultivos considerando dos principios fundamentales: variación genética y selección. **Fuente:** Tomado de Novak y Brunner 1992.

FAO junto el Organismo Internacional de Energía Atómica desde 1970 patrocinaron investigaciones sobre la inducción de mutaciones para impulsar el mejoramiento genético de cultivos alimentarios e industriales. Esto ha dado lugar al desarrollo de variedades mejoradas de muchos cultivos como el arroz, el trigo, la cebada, las manzanas, los cítricos, la caña de azúcar y el banano. Son 3281 variedades mutantes distribuidas oficialmente según la base datos de FAO/OIEA (MVD.OIEA 2017).

### 2.13.1 Radiosensibilidad

La sensibilidad de los materiales vegetales a varios mutágenos se ha investigado y se resume para muchas especies de plantas. Sin embargo, estos deben ser considerados como una guía, y no tratados como números fijos, particularmente para especies de plantas que no se han estudiado extensamente, ya que existe un efecto genotípico significativo en la sensibilidad a

los tratamientos mutagénicos en las plantas a nivel de las especies y dentro de ellas de los genotipos (Shu *et al.*2011).

La determinación de la radiosensibilidad de los genotipos irradiadas se logra exponiendo el material a un rango de intensidades de radiaciones y seleccionando aquellas dosis que permitan observar efectos visibles de la radiación, pero manteniendo una supervivencia de los tejidos. La dosis óptima está asociada con la Dosis Letal media (LD<sub>50</sub>) y la Dosis Reductiva media (GR<sub>50</sub>) (Tulmann-Neto 1997).

### **2.13.2 Efecto de los mutágenos en la generación M1**

La mayoría de los efectos observados en la generación M1 son fisiológicos. Las lesiones en las plantas en la generación M1 son indicativas del grado de los efectos de los mutágenos en las plantas y se pueden determinar cuantitativamente de varias maneras. Estos pueden usarse como indicativos, para establecer valores umbrales de dosis de mutágenos que originan la mutación requerida.

Para estimar el grado de daño a la planta en la generación M1, se utiliza los siguientes parámetros:

- Altura de la plántula, determinada en una etapa poco después de la germinación. Normalmente se lleva a cabo bajo condiciones ambientales controladas o invernaderos.
- Longitud de la raíz, determinada poco después de la germinación en un entorno controlado o en condiciones de invernadero.
- Emergencia bajo condiciones de campo, o germinación bajo condiciones de ambiente controlado
- Supervivencia bajo condiciones de campo o ambiente controlado.
- Cantidad de florecillas, flores o inflorescencias por planta
- Número de florecillas o partes de flores por inflorescencia.
- Número de conjunto frutas y / o semillas por planta.

### **2.13.3 Efecto de mutaciones sobre material vegetal**

Según Swanson, citado por Sanjines (2001) las radiaciones pueden producir tres tipos de efectos sobre las células.

#### a) Efecto fisiológico

Es aquel que produce alteración química de ciertas moléculas que afectan el funcionamiento normal de la célula, llegando en ocasiones hasta causar la muerte de estas. Esto tiene repercusión sobre la síntesis de DNA y se puede alterar la mitosis, produciéndose el aglutinamiento de los cromosomas, aunque éstos no se rompan.

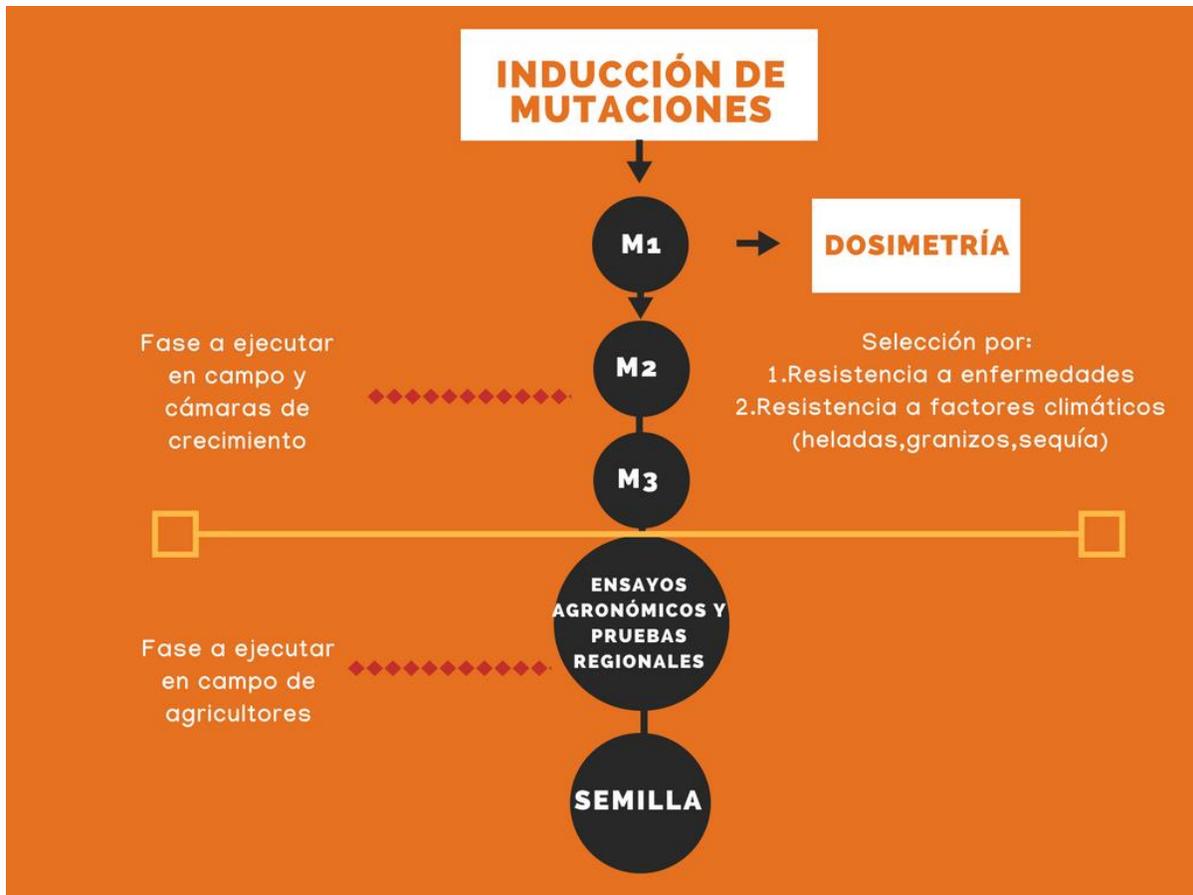
#### b) Efecto mutacional

Aplicado a la teoría del blanco, se producen mutaciones de punto sin que sean capaces de producir la ruptura del cromosoma.

#### c) Efecto cromosómico

En este tipo de efecto se llega a la ruptura del cromosoma, la cual puede afectar al cromosoma completo, o a una cromátida.

En la Figura N° 6 se presenta un esquema de las diferentes etapas a seguir en el mejoramiento de plantas propagadas por semillas empleando la inducción de mutaciones.



**Figura 6:** Metodología para el mejoramiento de cereales y granos nativos empleando la inducción de mutaciones - Programa de Cereales Menores y Granos nativos de la UNALM  
**Fuente:** Adaptado de Mayta 2016.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se desarrolló tres experimentos, donde se evaluó el porcentaje de germinación y supervivencia de semillas irradiadas a diferentes dosis de radiación gamma, en tres ambientes diferentes: laboratorio, casa malla y vivero. Las semillas de café var. Typica, se obtuvieron de una parcela comercial ubicada en Quillabamba (Cusco). En el primer experimento se irradio a 200 y 300 Gy. En el segundo experimento la dosis fue igual a 50, 100 y 150 Gy y en el tercer experimento 100 Gy. Sólo en el tercer experimento se caracterizó de forma cualitativa y cuantitativa la población de plantas de generación M1.

#### 3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

Las semillas de café (*Coffea arabica* L.var Typica) fueron irradiadas en las instalaciones del Instituto de Energía Nuclear Peruano (IPEN) ubicado en Huarangal, Lima. Luego el proceso de germinación, se realizó en tres lugares: laboratorio y casa malla, en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM, Lima) y en vivero en el Fundo “La Génova” del Instituto Regional de Desarrollo de la Selva (IRD-Selva) de la UNALM, que se ubica en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, a una altitud de 965 m.s.n.m, latitud 11° 5'44.62"S y longitud 75°21'8.49"O (Figura N° 7).



**Figura 7:**Ubicación de experimentos Izq. UNALM Der. IRD Selva **Fuente:** Google Earth,2018

## 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

### Material vegetal

- Primer experimento: 1650 gr semillas de café
- Segundo experimento: 2190 gr semillas de café de cada Santa Teresa y Chaupimayo.
- Tercer experimento: 3375 gr semillas de café

### Material de laboratorio

- Pinzas
- Placa Petri
- Bandejas plásticas
- Papel toalla
- Lápiz y marcadores

### Material de campo

- Libreta y registros de campo
- Cámara fotográfica
- Lápiz y marcadores
- Regla, vernier

### Equipos

- Equipos de laboratorio
- Cámara de germinación
- Irradiador GAMMACELL 220 Cobalto 60 del Instituto Peruano de Energía Nuclear

### 3.3 METODOLOGIA

#### 3.3.1 VARIABLES ESTUDIADAS

- a. **Germinación:** Es el proceso mediante el cual la semilla pasa de un estado en reposo o latencia a un estado de actividad y se origina una nueva planta. Valores en porcentaje.

Determinación en laboratorio

$$\% \text{ Germinación} = \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas } \textit{sensu stricto}}{\text{N}^\circ \text{ total de semillas}} \right) \times 100$$

Determinación en casa malla y vivero

$$\% \text{ Germinación} = \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas emergidas}}{\text{N}^\circ \text{ total de semillas}} \right) \times 100$$

- b. **Supervivencia:** Es la capacidad de supervivir de todo ser vivo frente a un determinado evento que justamente puso nuestra vida en peligro. Valores en porcentaje.

$$\% \text{ Supervivencia} = \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas sobrevivieron}}{\text{N}^\circ \text{ total de semillas}} \right) \times 100$$

**a. Caracterización de la arquitectura de la planta en población M1**

- ✓ Altura de la planta: Se midió en centímetros, desde el nivel del suelo a la base del tallo hasta el apical del tallo dominante (Julca *et al.*2002).
  - ✓ Número de hojas: Se contabilizó el número de hojas por cada planta.
  - ✓ Diámetro del tallo: Se midió en milímetros aproximadamente a dos centímetros de cuello de planta. (Julca *et al.*2002).
- Distancia de cotiledón al primer nudo: Se midió en centímetros desde la base de cotiledones hasta el primer nudo con hojas verdaderas.

**b. Caracterización de la hoja de la planta en población M1**

- ✓ Forma de hoja: La caracterización de la forma de la hoja se realizó mediante códigos del 1-5, donde (1) abovada, (2) ovada, (3) elíptica, (4) lanceolada y (5) otra (IPGRI 1996).
- ✓ Longitud de hoja: Se midió en centímetros desde el pecíolo hasta el ápice de la hoja. El descriptor por planta se expresó como el promedio de dos hojas del primer y segundo nudo.
- ✓ Ancho de hoja: Se midió en centímetros en el punto más ancho, y luego el valor del ancho de la hoja por planta se expresó como el promedio de las dos hojas del primer y segundo nudo.
- ✓ Color de hoja joven: El color de las hojas jóvenes se clasificó utilizando códigos del 1-6, donde (1) verdusca, (2) verde, (3) amarronada, (4) marrón rojiza, (5) bronce y (6) otro. El color de la hoja joven por planta se determinó con base a la moda dentro de la misma planta.
- ✓ Forma del ápice de la hoja: Para la caracterización de la forma del ápice de la hoja se utilizaron códigos del 1-7, donde (1) redonda, (2) obtusa, (3) aguda, (4) puntiaguda, (5) apiculada y (6) espatulada y (7) otro (IPGRI 1996).
- ✓ Forma de estípula: La caracterización de la forma de estípula se realizó mediante códigos del 1-6, donde (1) redonda, (2) oval, (3) triangular, (4) deltoide, (5) trapeciforme y (6) otro.

### 3.3.2 Tratamiento de las semillas

#### 3.3.2.1. Primer experimento

El primer experimento se realizó en el 2015, se utilizó semillas con el endocarpio. La cantidad de semilla irradiada fue de 1650 gr de semillas.

**Cuadro 4:** Dosis de rayos gamma por tratamiento en el primer experimento.

Tratamiento	Dosis
T1	0Gy
T2	200Gy
T3	300Gy

Después de la irradiación se retiró el endocarpio de las semillas para sembrar y se destinó a tres lugares:

**Laboratorio:** En esta fase se realizó la siembra de 50 semillas irradiadas por cada tratamiento. En total se sembró 150 semillas irradiadas.

Se sembró las semillas sin endocarpio, en papel toalla y humedecidas con agua destilada, luego se colocaron en la cabina termostática Pol-Eko-Aparatura (Polonia) donde la temperatura es de 30°C y fotoperíodo de 12horas de luz y 12horas oscuridad.

**Casa malla:** Se instaló la casa malla donde las condiciones del medio son controladas como la temperatura a 30°C y se utilizó 300 semillas irradiadas sin endocarpio por tratamiento. En total se sembró 900 semillas en casa malla.

**Vivero:** La cantidad de semilla que se sembró es aproximadamente 600 semillas irradiadas por tratamiento.

### 3.3.2.2. Segundo experimento

El experimento se inició en setiembre 2016, se irradiaron semillas procedentes de dos lugares Santa Teresa y Chaupimayo (Cusco) y se utilizó 450 gr de semilla por tratamiento.

**Cuadro 5:** Dosis de radiación gamma por tratamiento en el segundo experimento.

Tratamiento	Dosis	Origen
T1	0Gy	Santa Teresa
T2	50Gy	Santa Teresa
T3	100Gy	Santa Teresa
T4	150Gy	Santa Teresa
T5	0Gy	Chaupimayo
T6	50Gy	Chaupimayo
T7	100Gy	Chaupimayo
T8	150Gy	Chaupimayo

Las semillas irradiadas con endocarpio, se sembraron en el laboratorio, casa malla y vivero, en forma similar al primer experimento con excepción de la siembra a nivel del vivero.

**Laboratorio:** Se sembró por cada tratamiento 60 semillas irradiadas con endocarpio. En total se sembró 480 semillas irradiadas.

**Casa malla:** Se sembró 300 semillas por cada tratamiento.

**Vivero:** Se sembró aproximadamente 1485 semillas irradiadas para Santa Teresa y Chaupimayo.

### 3.3.2.3. Tercer experimento

Se inició en mayo-2017 y finalizó enero 2018, las semillas fueron colectadas en un campo de café ubicado en La Convención-Departamento Cusco y la dosis fue de 100Gy.

**Cuadro 6:** Dosis de radiación gamma por tratamiento en el tercer experimento.

Tratamiento	Dosis	Origen
T1	0Gy	La Convención
T2	100Gy	La Convención

#### **Vivero:**

Se sembró 4500 semillas con endocarpio para cada tratamiento desinfectado con fungicida HOMAI® WP - Tiofanate metil + tiram (dosis = 200g/100Kg). Se utilizó cajas plásticas de cosecha para recrear la estructura de germinador, con una dimensión de 0.18 m<sup>2</sup>/caja. El sustrato fue arena de río y se aplicó agua caliente como método de desinfección. Además, previo a la siembra se sumergió las semillas en agua por 8 horas aproximadamente.

La etapa de vivero en almácigo comprendió 4 meses, octubre 2017 a enero 2018. El almácigo o vivero se ubicó en un terreno plano con buen drenaje y cercano a una fuente de agua (Crespo, 1996). El repique se realizó a los 67 días después de siembra, la semilla germinada se colocó en bolsas para vivero con capacidad de 1kg del sustrato, el cual fue tierra de chacra (40%), arena (40%) y compost (20%).

La evaluación a nivel de plántulas con 1 o 2 cotiledones se realizó el mes de Setiembre. A partir del mes de octubre se realizó caracterización morfológica a la Generación M1, donde las variables estudiadas correspondieron a la lista de descriptores de café publicado por el International Resources Institute, IPGRI (1996). Se seleccionaron 12 descriptores (6 descriptores cuantitativos y 5 descriptores cualitativos).

**Cuadro 7:** Descripción de variables cuantitativas y cualitativas según descriptores de café.

Variables Cuantitativas	1. Altura de planta 2. Número de hojas 3. Diámetro de tallo 4. Distancia de cotiledón a primer nudo 5. Longitud de hoja 6. Ancho de hoja
Variables Cualitativas	7. Color de pecíolo de hoja 8. Forma de hoja 9. Color de hoja joven 10. Forma del ápice de la hoja 11. Forma de estípula

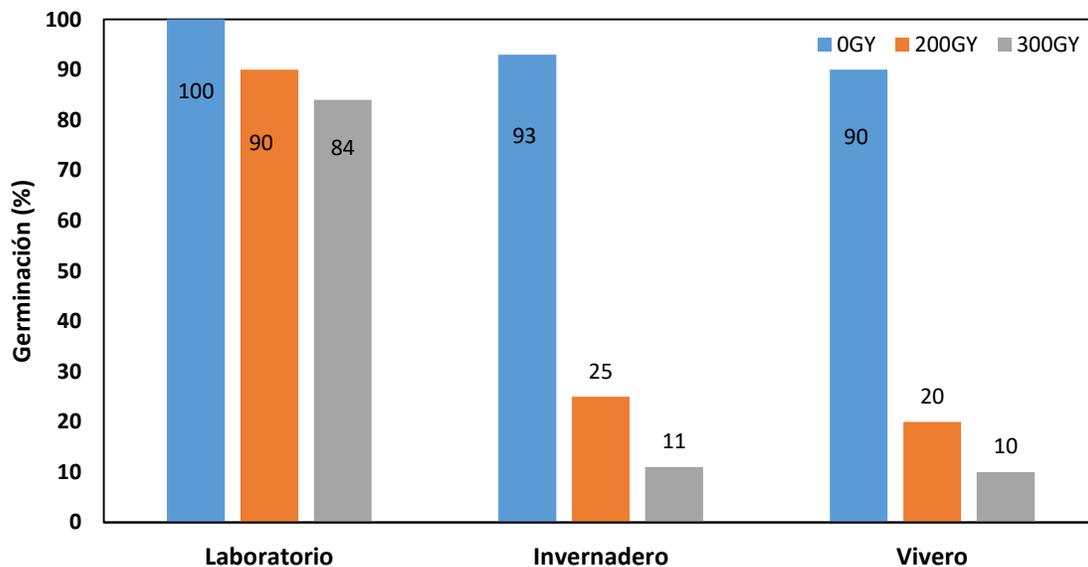
**Fuente:** IPGRI 1996

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan a nivel de los experimentos conducidos durante el periodo de duración de la siguiente investigación:

### 4.1. Primer experimento

Considerando lo señalado la germinación *sensu stricto* en el laboratorio, comenzó a los 21 días después de la siembra y se completó a 19 días después. En el tratamiento 0Gy fue de 100%, mientras que en los tratamientos 200Gy y 300Gy, a los 60 días después de siembra, fue 90 y 84% respectivamente (Figura 8).



**Figura 8:** Porcentaje de germinación de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Typica) irradiadas con rayos gamma a 200Gy y 300Gy y un tratamiento control en condiciones de laboratorio, invernadero y vivero.

Según Rosa *et al.* (2010), la etapa germinación *sensu stricto* se inicia aproximadamente a los 7 días, cuando la radícula penetra a través de la capa externa del endospermo completando la germinación.

En la casa malla, el proceso de germinación se evaluó a los 21 días después de la siembra, en el tratamiento testigo fue 93%; mientras que en los tratamientos con 200 y 300Gy, a los 45 días, fue de 25% y 11%, respectivamente (Figura 8).

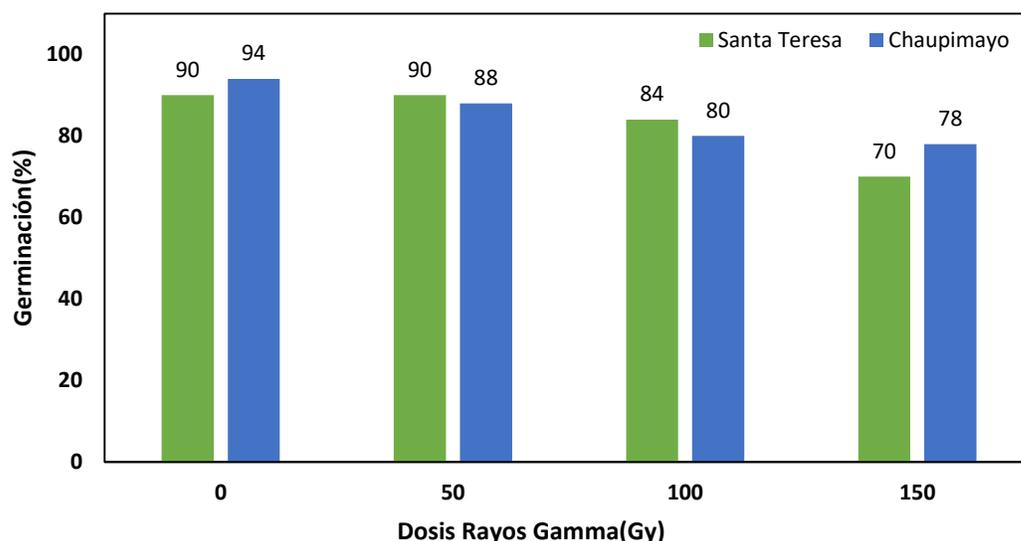
En el vivero, la germinación en el tratamiento testigo se inició a los 45 días y se completó (cotiledones abiertos) a los 65 días. El porcentaje de germinación a 60 días después de siembra en el testigo fue 90% y en los tratamientos 200Gy y 300Gy fue 20 y 10%, respectivamente.

En los tres lugares, la germinación fue menor conforme se incrementó la dosis del agente mutante. En el ensayo de laboratorio, el inicio de la germinación fue más rápido porque la semilla no tenía endocarpio (pergamino). En las investigaciones de Huxley (1964); Valencia (1970); Valio (1980); Velasco y Gutiérrez (1974) se encontraron que una semilla con el endocarpio (pergamino) presente, demora para germinar entre los 50 y 70 días; cuando se hace la remoción del mismo, la germinación se acelera en 20 días, aproximadamente. Los tratamientos con 200 y 300 Gy, tienen porcentajes de germinación superior al 80% solamente en laboratorio; pero no hubo supervivencia.

Cuando se evaluó la supervivencia en laboratorio, solamente las semillas del tratamiento testigo sobrevivieron y desarrollaron el sistema de raíz con hipocotilo y hojas cotiledonales. Para el caso de 200 y 300Gy, la supervivencia fue nula. Como se ha señalado anteriormente, con estas dosis hubo germinación; pero no supervivencia. No se tiene referencias para el café, pero, en el caso de trigo, se encontró que el porcentaje de supervivencia disminuyó con el incremento de la dosis de rayos gamma hasta 300 Gy (Argumedo 2013). En casa malla y vivero, solamente las semillas del tratamiento testigo (0Gy), fueron capaces de sobrevivir y completar su desarrollo. Esto probablemente debido a que el efecto directo de la radiación gamma es la mortalidad de las semillas, que incluye tanto la letalidad aguda como la reducción a largo plazo de la esperanza de vida (Barnthouse 1995). Además, la semilla de café de forma natural, se caracteriza por pérdida rápida de su viabilidad (Valencia 1970).

## 4.2. Segundo experimento

El porcentaje de germinación *sensu stricto* en laboratorio se evaluó a los 62 días después de siembra. En semillas provenientes de Santa Teresa, los tratamientos 0Gy y 50Gy presentaron el mismo porcentaje de germinación igual a 90%. Por otro lado, para los tratamientos 100Gy y 150Gy, la germinación fue de 84% y 70%, respectivamente. En semillas de Chaupimayo en los tratamientos 0Gy y 50Gy se observó una germinación de 94% y 88%, respectivamente; mientras que con 100Gy y 150Gy fue de 80 y 78% respectivamente (Figura 9 y 10). En ambas semillas el porcentaje de germinación fue superior al 70%; pero las semillas de Chaupimayo obtuvieron valores mayores a las de Santa Teresa. La temperatura utilizada en la cámara de crecimiento fue de 30°C, considerando que el rango óptimo está entre 28 a 30°C (Wellman y Toole, 1960; Huxley, 1964), por lo que la diferencia en el porcentaje de germinación, se explicaría por la calidad de semilla.

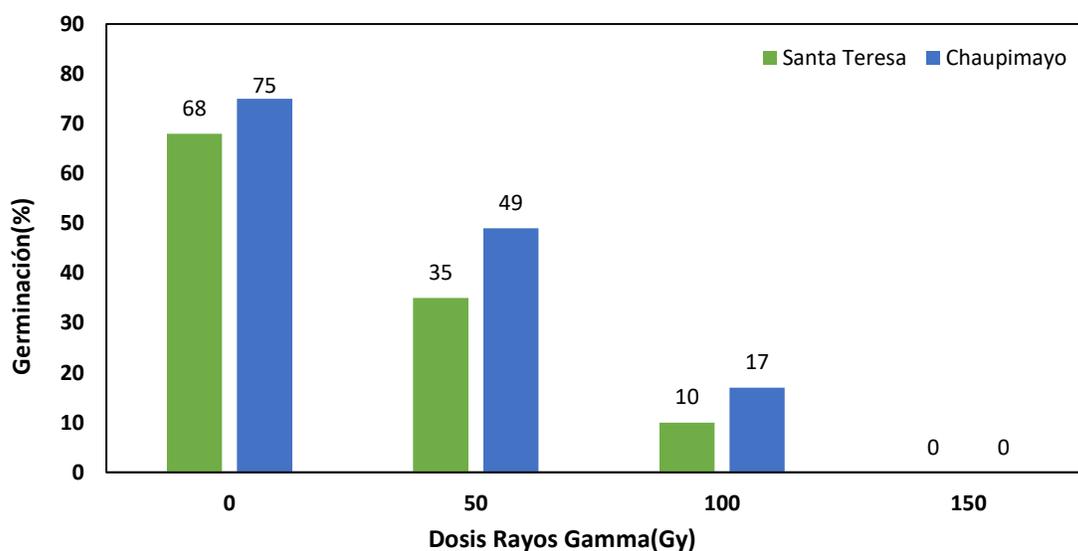


**Figura 9:** Porcentaje de Germinación de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Typica) provenientes de Chaupimayo y Santa Teresa (Cusco) irradiadas con rayos gamma con 0, 50, 100, 150Gy a los 62 días después de la siembra.



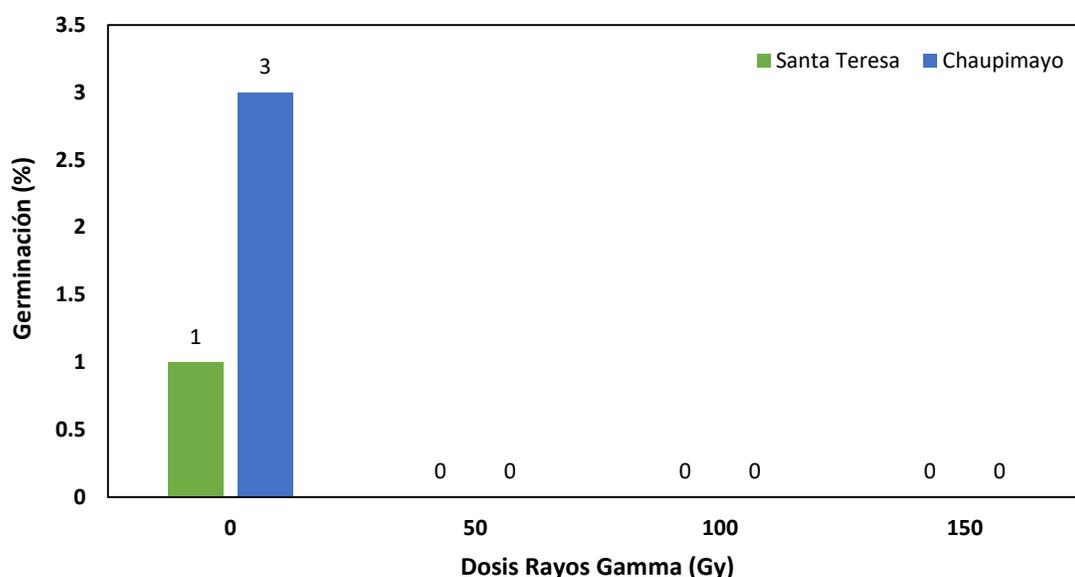
**Figura 10:** Germinación de semillas de café variedad Typica tratadas con rayos gamma a los 60 días después de siembra (T1= 0Gy T2= 50Gy T3= 100Gy T4= 150Gy T5=0Gy T6=50Gy T7=100Gy T8=150Gy) en condiciones de Laboratorio.

En casa malla, 75 días después de la siembra, la germinación de las semillas provenientes de Santa Teresa con 0Gy o testigo fue de 68%; mayor que para los tratamientos con 50Gy, 100Gy y 150Gy que fue de 35,10 y 0%, respectivamente. En las semillas de Chaupimayo, con 0Gy, la germinación fue de 75% y para los tratamientos de 50Gy, 100Gy y 150Gy fue igual a 49,17 y 0%, respectivamente (Figura 11). En ambos casos, las semillas tratadas con 150Gy no germinaron. Kumar *et al.* (2003) estudiaron los efectos de la radiación gamma (200, 400, 600, 800 y 1000 Gy) en la germinación, crecimiento y supervivencia de semillas de *Phaseolus lunatus* y encontraron que la supervivencia y la germinación disminuyeron al aumentar la radiación gamma. Lo mismo ocurrió en arroz (Cheema y Atta 2003), quienes encontraron que, en condiciones de campo, la germinación de semillas de tres diferentes variedades en la generación M1, disminuyó con el aumento de la dosis de radiación.



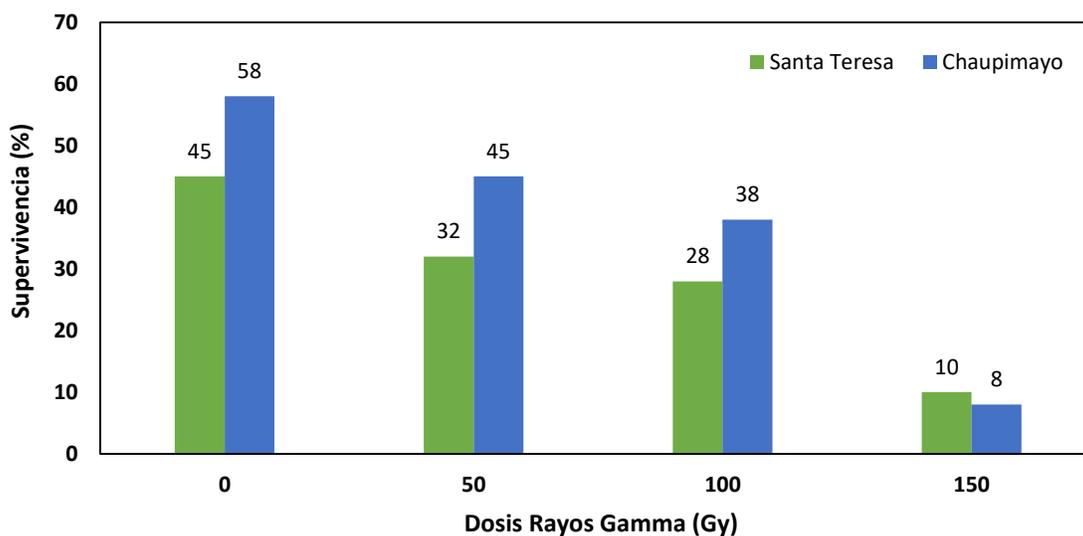
**Figura 11:** Porcentaje de germinación de semillas de café (*Coffea arabica* L.var.Typica) procedentes de Chaupimayo y Santa Teresa irradiadas con rayos gamma a 50, 100, 150Gy y tratamiento control a los 75 días después de siembra en casa malla.

En condiciones de vivero, 35 días después de siembra, solamente germinaron las semillas del tratamiento testigo (0Gy), pero en cantidades muy bajas, 1 y 3%, para Santa Teresa y Chaupimayo, respectivamente (Figura 12). Si analizamos los resultados de manera conjunta, observamos que la germinación fue más baja en los lugares donde el control de los factores ambientales fue menor. Esto sugiere una hipersensibilidad de la semilla irradiada a situaciones de estrés y, por tanto, la necesidad de mayor control de aquellos factores que pueden afectar la germinación, como por ejemplo la humedad. Arcila (2004), señala que un exceso de humedad interfiere en el proceso de germinación.



**Figura 12:** Porcentaje de germinación de semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Typica) Chaupimayo y Santa Teresa irradiadas con rayos gamma a 50, 100, 150Gy y tratamiento control a los 35 días después de siembra en vivero.

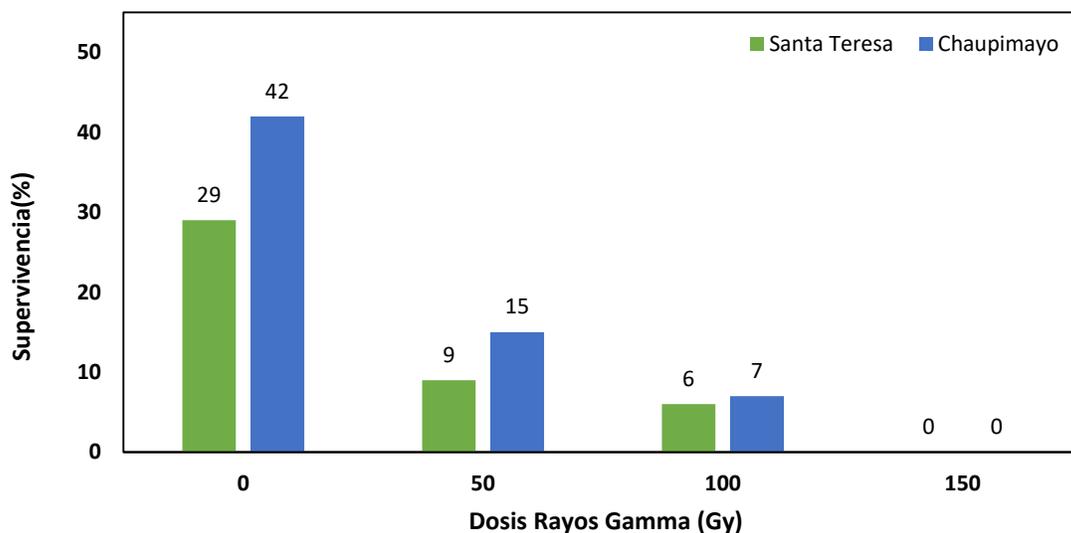
En laboratorio, 22 días después de la germinación, la supervivencia en semillas de Santa Teresa fue de 45, 32, 28 y 10%, para los tratamientos con 0, 50, 100 y 150Gy, respectivamente. Lo mismo ocurrió con las semillas de Chaupimayo, donde con los tratamientos 0, 50, 100 y 150Gy, se reportó 58, 45, 38 y 8% de supervivencia, respectivamente (Figura 13). No se tiene referencias para café; pero en *Jatropha curcas* aplicando diferentes dosis de radiación gamma (0, 200, 400, 600, 800 y 1000 Gy) en semillas de frutos secos se encontró que, con dosis más altas, se redujo el número de plantas que sobrevivieron (Songsri *et al.* 2011). En centeno (*Secale cereale* L. var Sorom), en un estudio utilizando dosis crecientes de rayos gamma (0, 100, 150, 250 y 300Gy), la supervivencia disminuyó al incrementarse la dosis de radiación (Soraluz, 2015).



**Figura 13:** Porcentaje de supervivencia de semillas germinadas café (*Coffea arabica* L. var. Typica) procedente de Chaupimayo y Santa Teresa irradiadas con rayos gamma a 50,100,150 Gy y tratamiento control a los 84 días después de siembra en laboratorio.

En casa malla, 37 días después de la germinación, la supervivencia de semillas germinadas de Santa Teresa fue de 29, 9, 6 y 0%, para los tratamientos de 0, 50, 100 y 150Gy, respectivamente. Lo mismo ocurrió con las semillas de Chaupimayo, donde los tratamientos 0, 50, 100 y 150Gy, presentaron 42, 15, 7 y 0% de supervivencia, respectivamente (Figura 14).

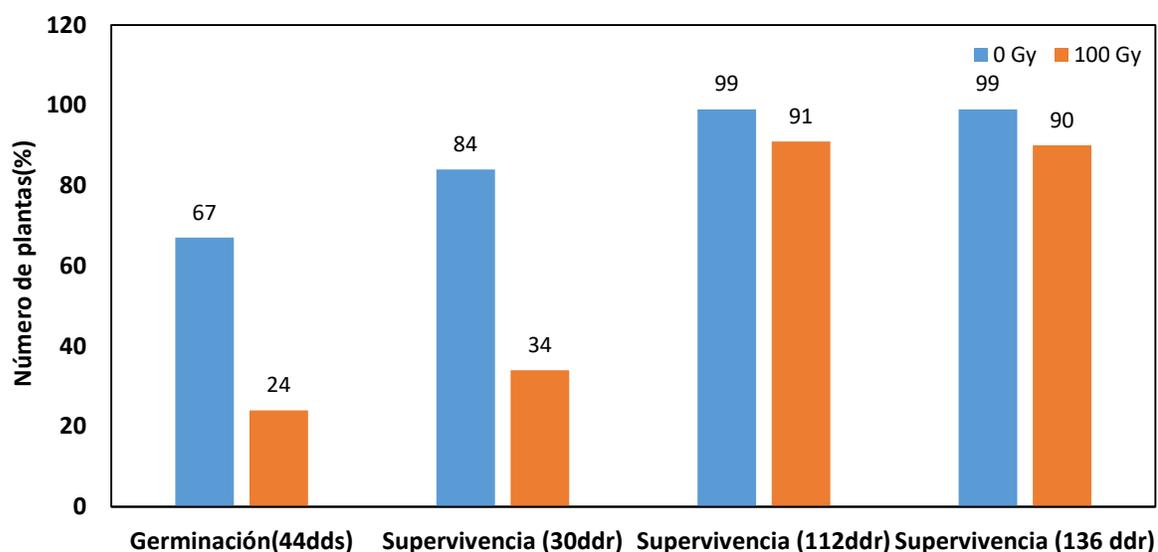
Como se reportó anteriormente, en este ensayo la germinación en vivero fue muy baja, tanto con semillas de Santa Teresa como de Chaupimayo y ninguna de las plántulas sobrevivió. Si analizamos los resultados de manera conjunta, encontraremos que la supervivencia fue más baja en los lugares donde el control de los factores ambientales fue menor, en forma similar a lo observado para germinación. Además, los valores más bajos o nulos de germinación y supervivencia fueron siempre a 150Gy.



**Figura 14:** Porcentaje de supervivencia de semillas germinadas de café (*Coffea arabica* L.var. Typica) procedentes de Chaupimayo y Santa Teresa irradiadas con rayos gamma a 50, 100, 150 Gy y tratamiento control a los 112 días después de siembra en casa malla.

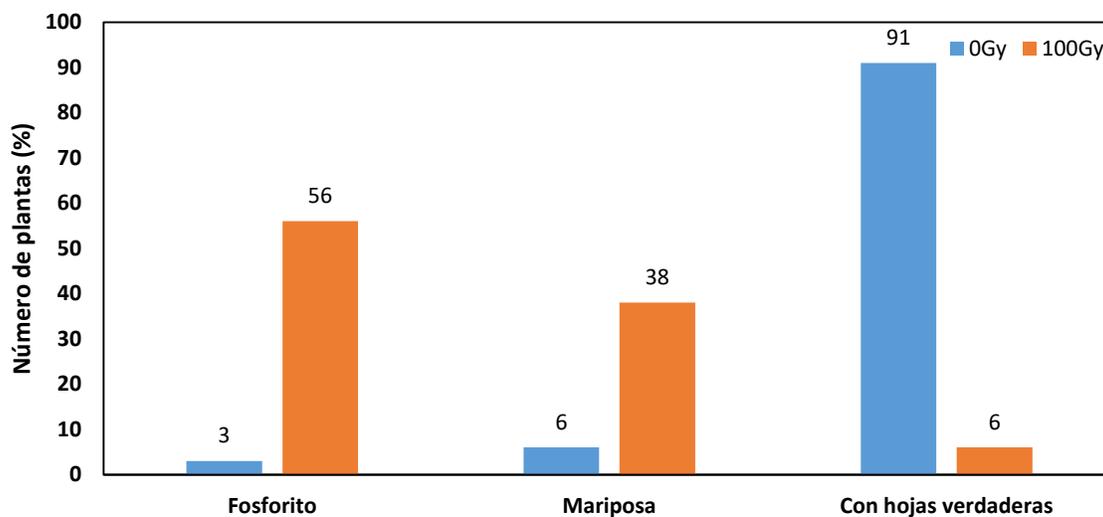
### 4.3. Tercer experimento

**Efecto sobre la germinación y supervivencia.** - En este experimento realizado solamente en el vivero, la germinación fue mayor en las semillas no irradiadas, casi 3.0 veces más que el porcentaje obtenido con las semillas tratadas con 100Gy. La supervivencia, 30 días después de repique, también fue mayor en el tratamiento testigo (0Gy), aproximadamente 2.5 veces más que la cantidad obtenida de plántulas vivas provenientes de semillas irradiadas con 100Gy; pero al final del periodo de evaluación (136 ddr), la diferencia es muy mínima (Figura 15).



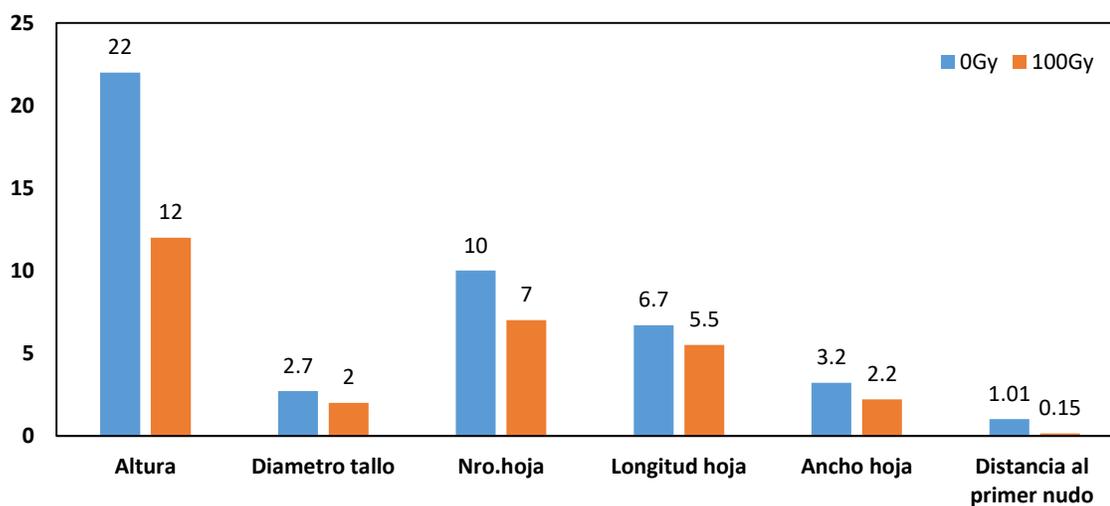
**Figura 15:** Porcentaje de germinación de café var. Typica irradiada con rayos gamma con 100 Gy y el tratamiento control a los 44 dds en germinadores en vivero. Fundo La Génova. San Ramón.

Las plántulas de café obtenidas de semillas no tratadas (0Gy), tuvieron un desarrollo más acelerado, al momento de la evaluación, el 91% de la población se encontraba con las primeras hojas verdaderas, el 6% en fase mariposa y solamente 3% en fase fosforito. En cambio, con 100Gy, solamente el 6% de las plántulas tenía las primeras hojas verdaderas y la mayor parte de la población (56%) se encontraba en fase fosforito, tal como se muestra en la Figura 16. Estos resultados de germinación y supervivencia, corroboran aquellos encontrados en los ensayos anteriores, que hay una mayor sensibilidad de las semillas y plántulas de café tratadas con rayos gamma a medida que se incrementa la dosis. Este efecto negativo, o daño somático, termina retardando el crecimiento y desarrollo de la planta. Kiong *et al.* (2008) señalan que la radiación gamma puede ser responsable de una menor germinación y reducción en el crecimiento.



**Figura 16:** Evolución de las fases de desarrollo de plántulas de café var. Typica, 30 días después del repique, obtenidas con semillas irradiadas con 100Gy y un tratamiento control en condiciones de vivero.

**Efecto sobre el crecimiento.** - Los resultados (Figura 17) muestran diferencias en el crecimiento de las plantas provenientes de semilla irradiadas con 100Gy y las del testigo (0Gy) a los , 136 ddr. Así tenemos que la altura fue mayor en las plantas no tratadas (0Gy), casi el doble que las provenientes de semillas irradiadas con 100Gy. El diámetro también fue mayor en las plantas del testigo (0Gy); pero la diferencia fue relativamente pequeña al compararlas con las del tratamiento con 100Gy. Resultados similares se encontraron para la longitud y el ancho de hoja, también para la distancia comprendida entre las hojas cotiledonales y el primer nudo del tallo, es decir diferencias relativamente pequeñas al compararlas con las plantas del tratamiento con 100Gy y a nivel de desarrollo vegetativo ambas poblaciones fueron de tipo monopódica y la apariencia de planta fue piramidal.



\*Las medidas de altura, longitud, ancho y distancia al primer nudo en centímetro excepto diámetro de tallo en milímetros.

**Figura 17:** Valores medios de altura de plántula, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y ancho de hojas y distancia al primer nudo de plantas de café var. *Typica*, provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma en la dosis de 100Gy y un tratamiento control a los 136 ddr.

El mayor número de hojas también correspondió al tratamiento testigo (0Gy), la diferencia fue del 30%, comparado con el valor obtenido con 100Gy. Resultados similares han sido reportados en otros trabajos de investigación. Por ejemplo, Canul *et al.* (2012) reportaron la disminución de altura en plantas irradiadas de *Euphorbia pulcherrima*. Vargas (2016), en café, encontró que a mayor dosis de azida sódica, hubo una disminución de la altura de planta.

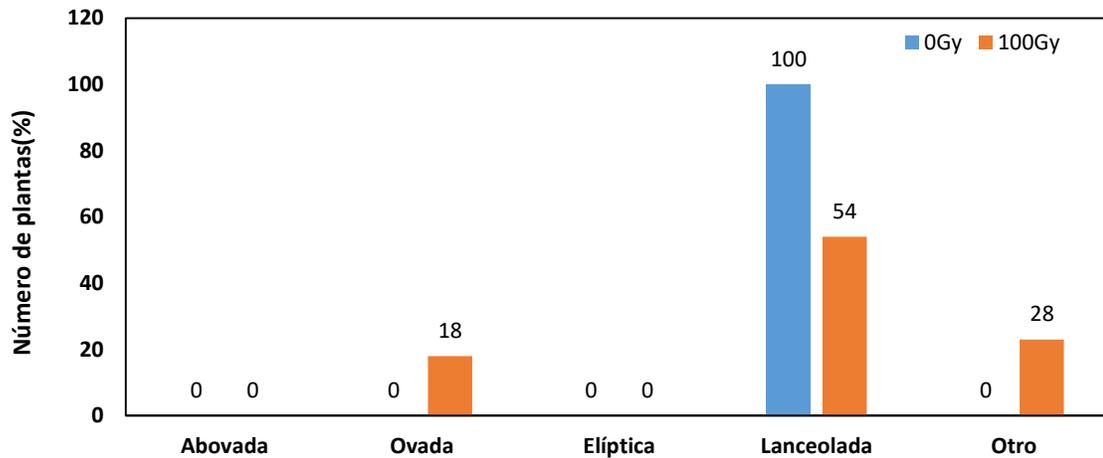
La radiación ionizante (incluidas las radiaciones gamma y X) afecta el crecimiento de los organismos (Arena *et al.* 2014; Wolff *et al.* 2014), debido a su efecto sobre el nivel de giberelinas. Taiz y Zeiger (2006), señalan que el conocimiento de las rutas biosintéticas de las giberelinas revela dónde y cómo actúan las mutaciones que producen enanismo. Reid y Howell (1995), reportaron que, a principios de 1980, se demostró que los tallos altos contenían más giberelina biológicamente activa que los tallos enanos, y que el nivel de giberelina endógena bioactiva afecta el control genético de la altura. En plantas transgénicas de *Arabidopsis*, las giberelinas se sintetizan principalmente en el ápice del tallo y hojas jóvenes en desarrollo (Coles *et al.* 2010)

Los efectos somáticas de los tratamientos mutagénicos encontradas generalmente en *Coffea arabica*, se deben mayormente a la duplicación o reducción del número de cromosomas. La inestabilidad génica se ha reportado para los alelos *na na* y *xc xc*, que controlan el hábito de crecimiento y el tamaño de la hoja, y el color de los frutos maduros, respectivamente (Carvalho *et al.*, 1954).

Efecto negativo sobre el diámetro del tallo, por efecto de la radiación gamma, ha sido reportado, en *Jatropha curcas*, por Songsri *et al.* (2011). Mientras que Vargas (2016), en un estudio para conocer el efecto de la azida sódica en café, encontró que el agente mutagénico retrasó la aparición de hojas verdaderas, sobre todo con las dosis altas; mientras que la dosis baja incrementó el número de hojas por planta. Al-Sahli (2004) y Hameed (2008), han revelado que la exposición de semillas a altas dosis de rayos gamma altera la síntesis de proteínas, el equilibrio hormonal, el intercambio gaseoso foliar y la actividad enzimática lo cual se refleja en el crecimiento del individuo. Vargas (2016), señala que el uso de azida sódica disminuyó la longitud de las hojas de café. Aunque hay autores como Wi *et al.* (2007), que señalan que una radiación a dosis bajas estimula el crecimiento de las plantas, cambiando la red de señalización hormonal de las células vegetales o aumentando la capacidad antioxidante de las células para superar fácilmente los factores de estrés diarios, tales como las fluctuaciones de la intensidad de la luz y la temperatura.

Con respecto a la distancia de las hojas cotiledonales al primer nudo del tallo, Vargas (2016), dice que el uso de un agente mutagénico químico como la azida sódica, disminuyó la distancia de cotiledón al primer nudo en café. Mientras que Ross *et al.* (1989), consideran que hay una estrecha relación entre el nivel de la giberelina GA<sub>1</sub> y la elongación del entrenudo en guisantes. Taiz y Zeiger (2006), señalan que las plantas con mayor sobreproducción de citoquininas son enanas y con entrenudos reducidos.

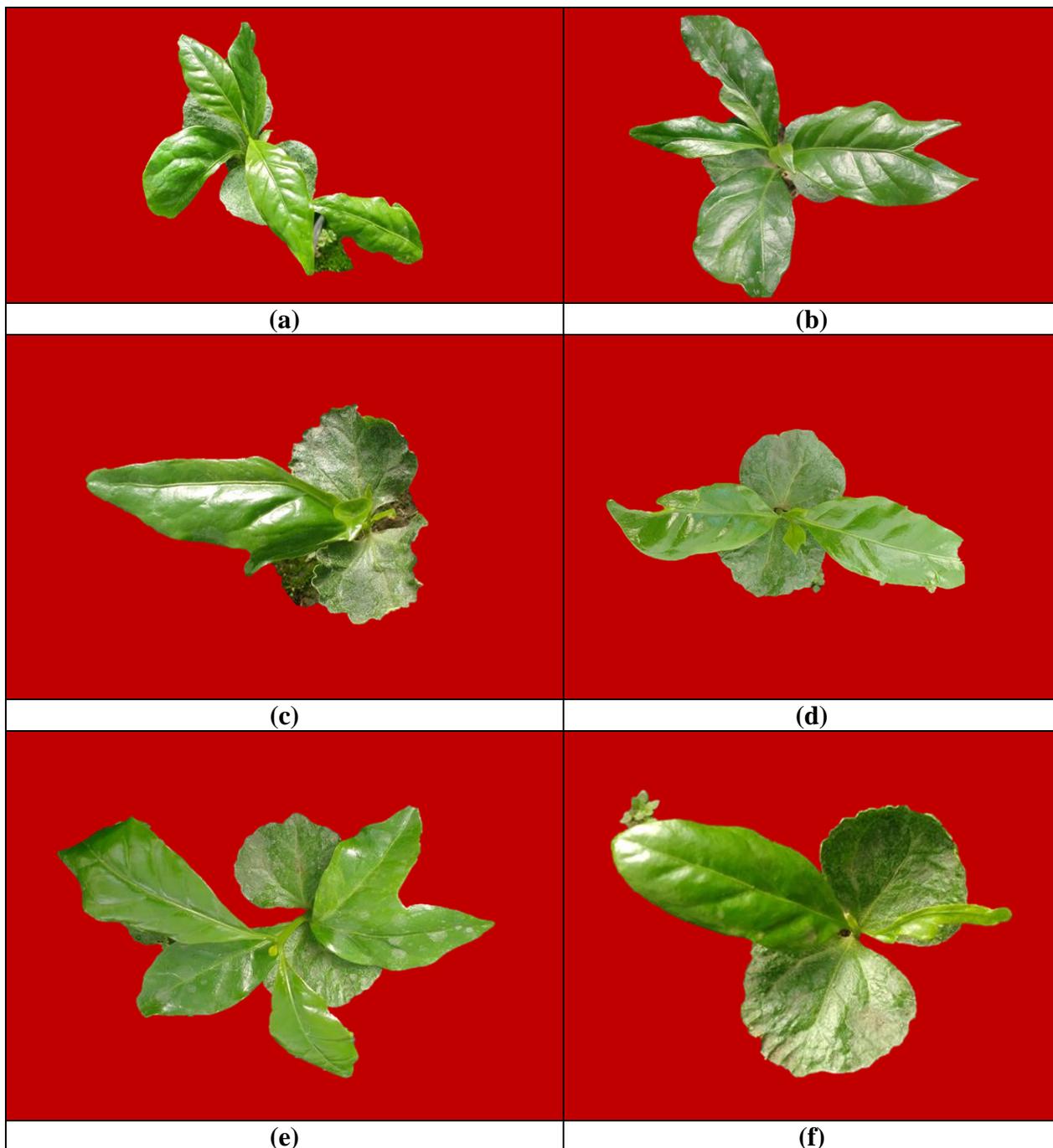
**Efecto sobre la morfología de la planta.** –Todas las plantas del control no irradiadas (0Gy) presentaron hojas lanceoladas. En las plantas irradiadas se observaron hojas ovadas en un 18% y un 23% con hojas deformes (Figura 18).



**Figura 18:** Forma de hoja en plantas de café var. Typica en una población M1, provenientes de semillas tratadas con 100Gy, comparada con un tratamiento control en condiciones de vivero.

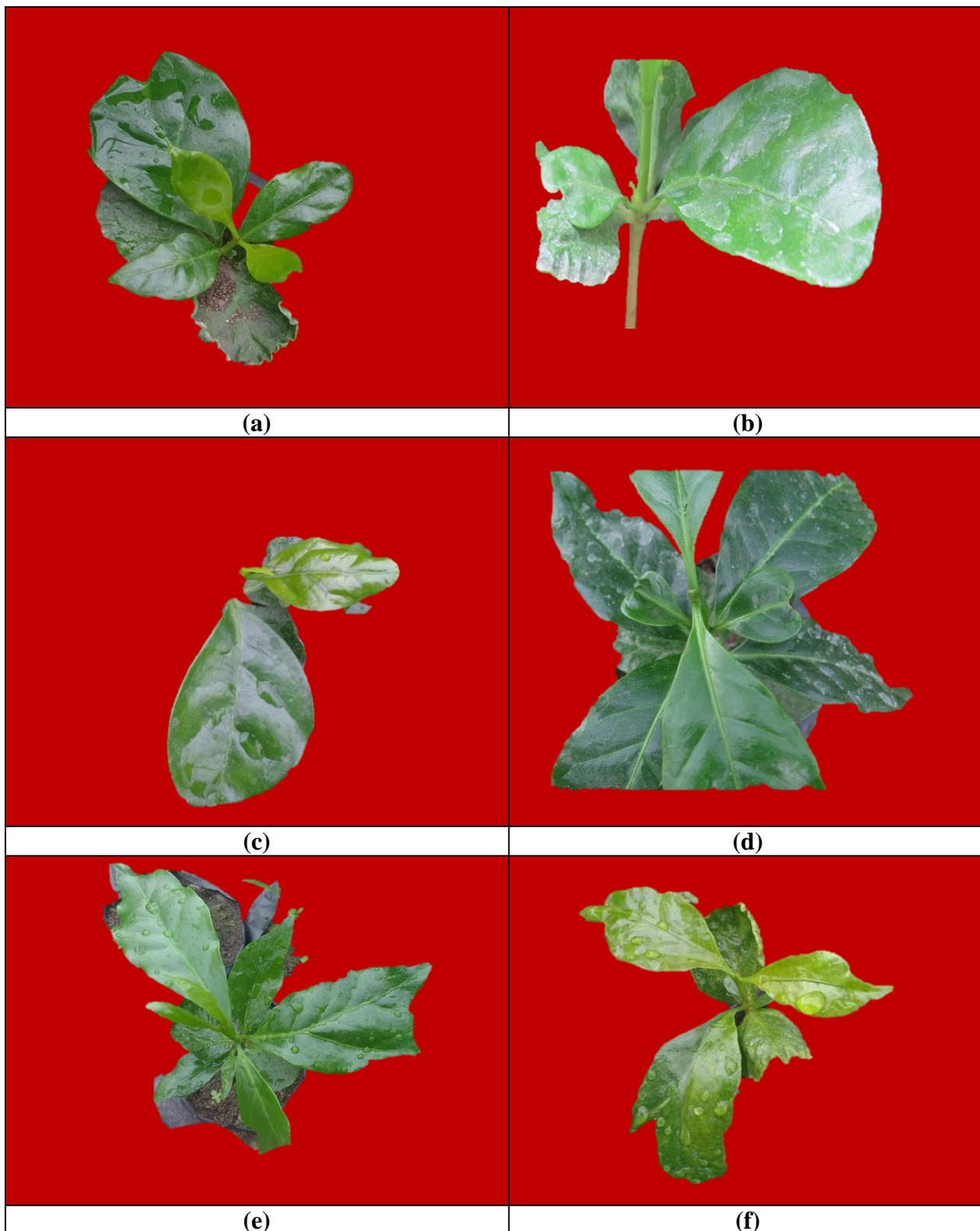
Monroig (2002), señala que la variedad Típica tiene hojas lanceoladas con la base y el ápice agudos, su textura es fina y la superficie lisa además las hojas nuevas o brotes son de color bronceado. Modificaciones de la forma de hojas en la población de plantas irradiadas de la variedad sería una consecuencia de la radiación gamma. Estos cambios morfológicos, estructurales y funcionales, dependen de la fuerza y la duración de la especie, de la variedad, de la exposición a dosis de rayos gamma y del estrés moderado..

Moh y Orbezo (1960); Moh (1961), indicaron que la irradiación con rayos X de las semillas de *Coffea arabica*, induce en la generación M1 una alta frecuencia de variantes morfológicas, particularmente del tipo angustifolia u hojas estrechas (Figura 21) que deben corresponder a aneuploides como indicada Mendes (1955). Estas son de naturaleza permanente, y los cambios inducidos generalmente afectan a las características de la planta entera, formando quimeras, aunque sólo en ocasiones muy raras. Otro aspecto del desarrollo de la planta es la diferenciación celular y los patrones de morfogénesis de las hojas (Figura 19, 20, 22), el cual dependen del estado metabólico y de desarrollo del cloroplasto (Rodermeil 2001).

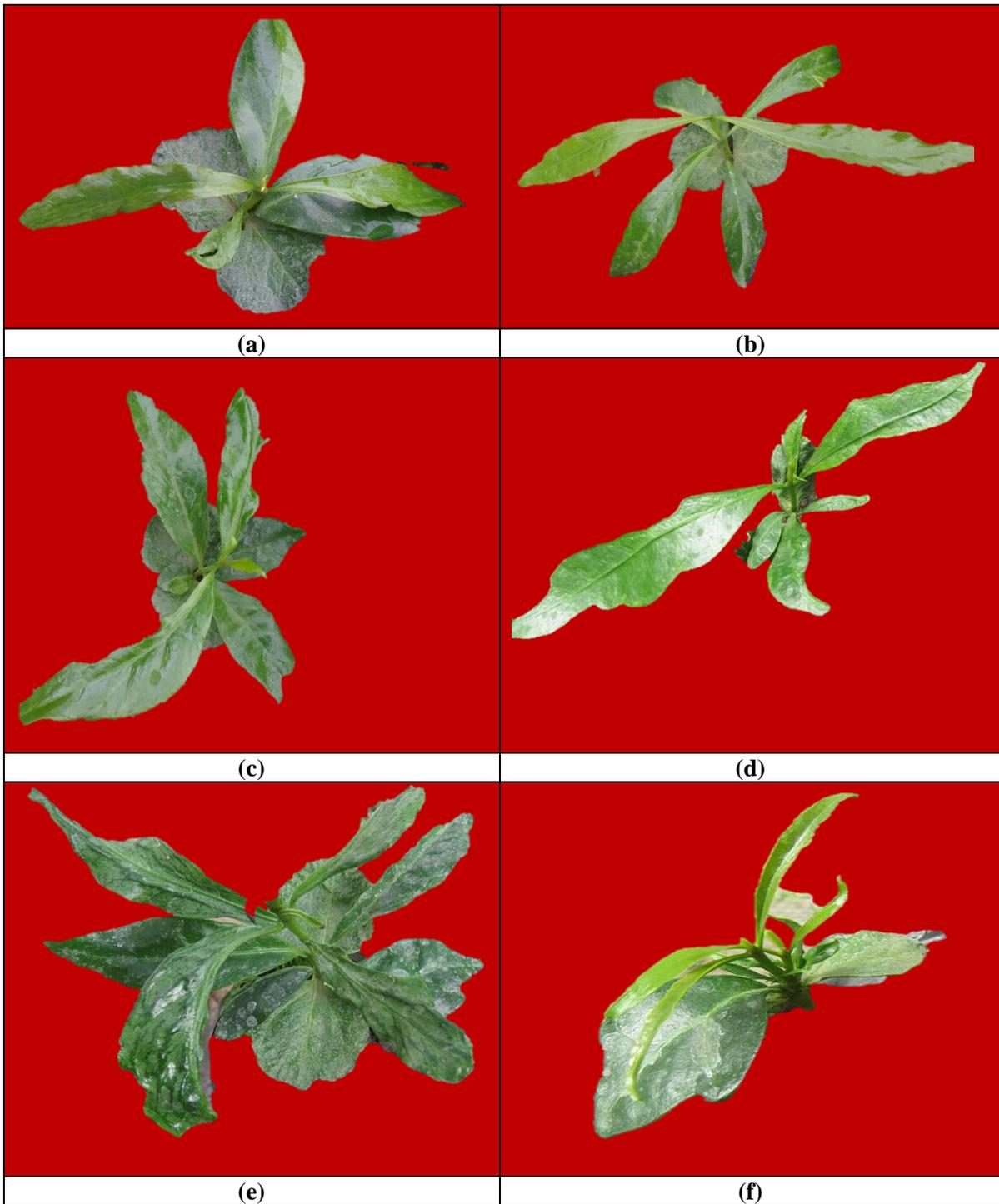


**Figura 19:** Modificaciones morfológicas de hojas de café var. Typica observadas en una población M1 irradiada con rayos gamma a la dosis de 100 Gy en condiciones de vivero.

- a) Limbo foliar reducido
- b) Presencia de dos ápices en una hoja
- c) Hoja con borde irregular
- d) Hoja irregular
- e) Presencia de dos nervios centrales en una misma hoja o hoja bipartida
- f) Hoja filiforme

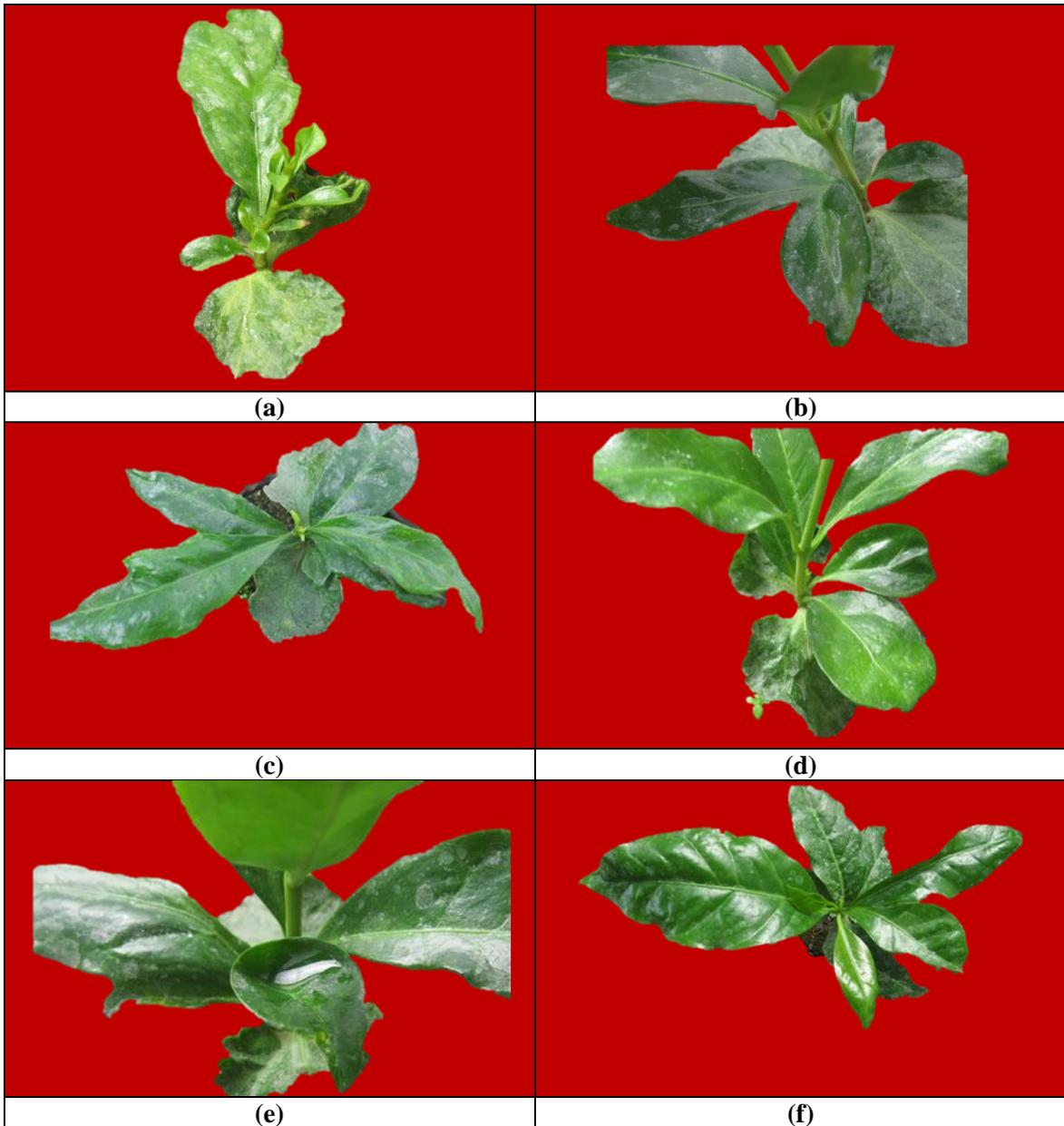


**Figura 20:** Modificaciones morfológicas de hojas de café var. Typica observadas en una población M1 irradiada con rayos gamma a la dosis de 100 Gy en condiciones de vivero. a-b) Hoja tipo orbicular con borde irregular c) Hoja tipo obovada d) Hojas tipo obcordada e-f) Hojas irregulares



**Figura 21:** Modificaciones morfológicas de hojas de café var. Typica observadas en una población M1 irradiada con rayos gamma a la dosis de 100 Gy en condiciones de vivero.

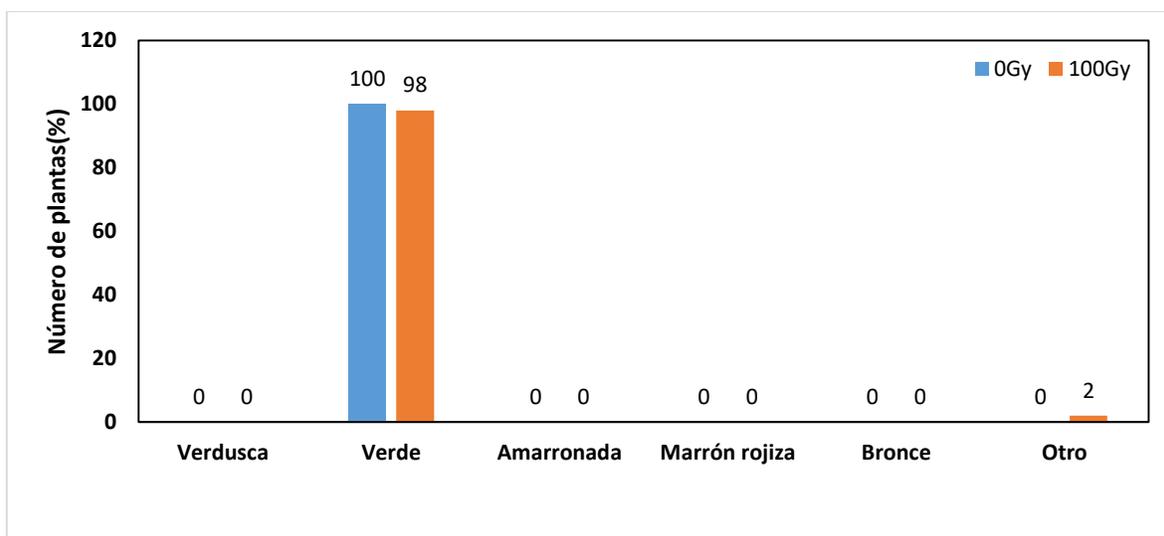
En la figura 21, desde (a)-(f) son plantas con presencia predominante de hojas angustifolias



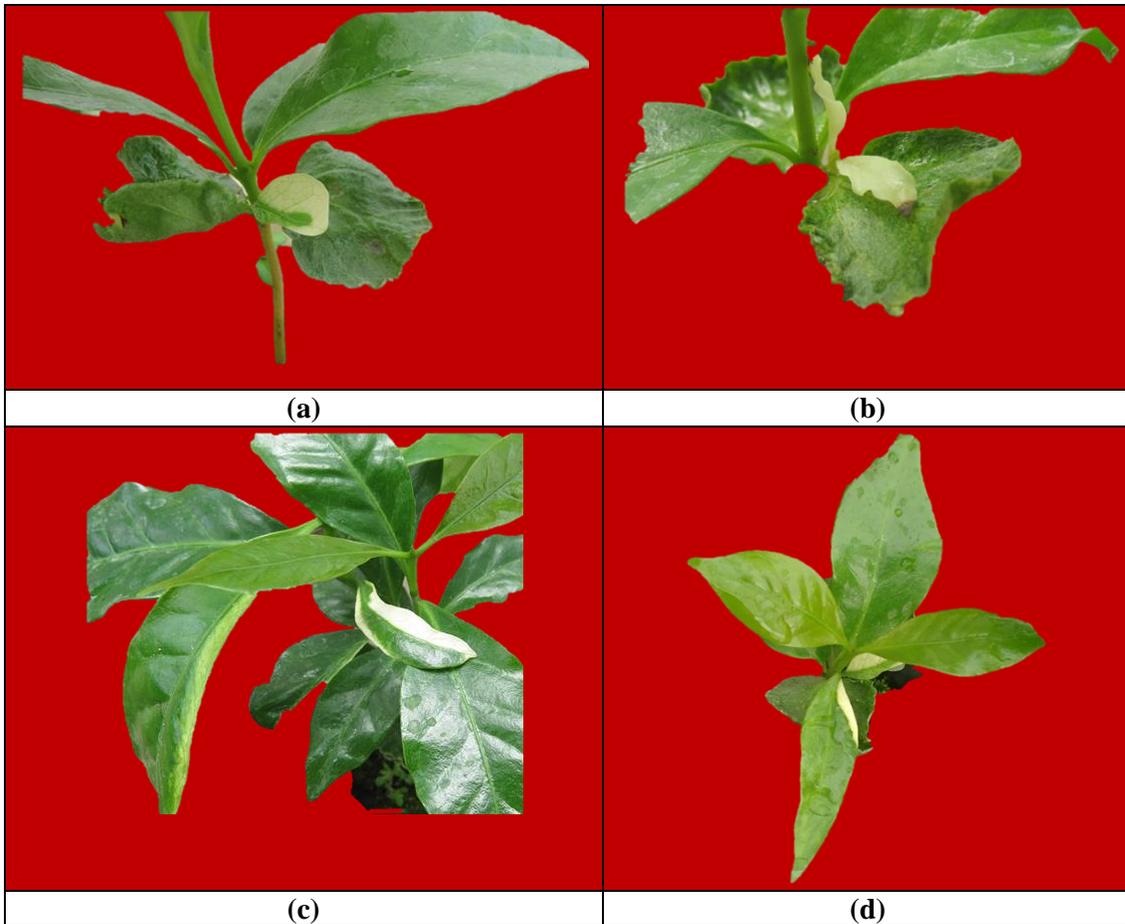
**Figura 22:** Modificaciones morfológicas de hojas de café var. Typica observadas en una población M1 irradiada con rayos gamma a la dosis de 100 Gy en condiciones de vivero

a) Hojas pequeñas b) hoja bipartita c) Hojas de bordes irregulares d) hojas pequeñas obtusas e) hoja con base tipo cono f) Par de hojas de diferente desarrollo: una de tamaño y forma normal otra de limbo reducido.

Con respecto al color de la hoja joven, predominó el color verde tanto en las plantas del tratamiento testigo (100%), como en las provenientes de semillas irradiadas con 100 Gy (98%), con un 2% de otro tipo (Figura 23). En este 2%, se observó hojas verdes con tono amarillento, hojas blancas con tono amarillo, hojas verdes con áreas blanca, verde oscuro, hojas verdes con franjas amarillas. Carvalho *et al.* (1954), señalan que no se ha reportado ningún caso de inestabilidad somática de los genes responsables del color de las hojas en café. Las modificaciones en color de hoja podrían tratarse de mutaciones clorofílicas como lo menciona Gustafsson (1941), en este caso sería del grupo viridis, subtipo albescens (a), lutescens (b, c, d) (Figura 24)



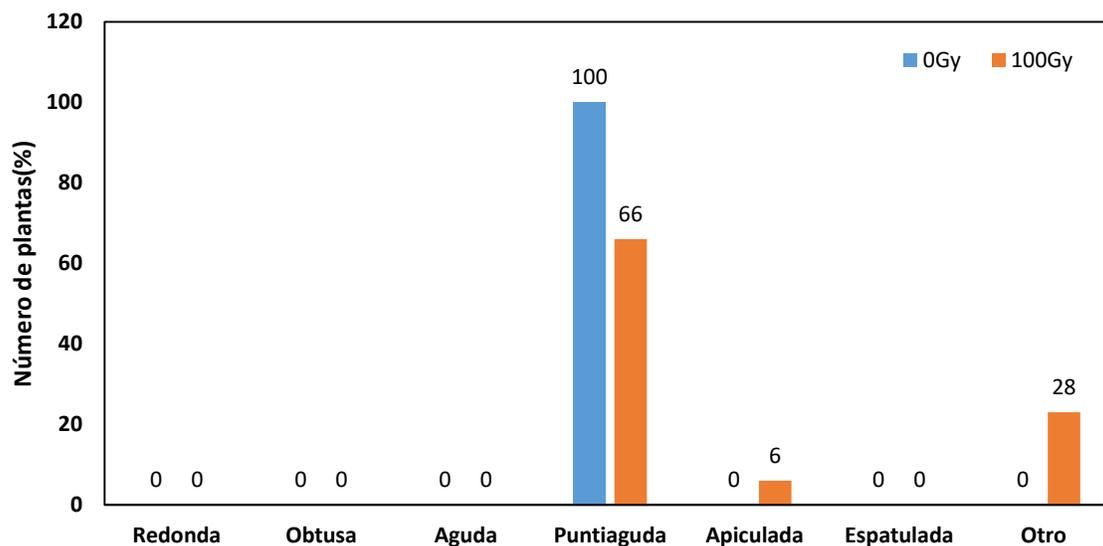
**Figura 23:** Modificaciones en el color de hojas juvenes en plantas de café var. Typica una población M1 provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma a la dosis de 100Gy y el tratamiento control en condiciones de vivero.



**Figura 24:** Modificaciones en el color de hojas jóvenes en plantas de café var. Typica una población M1 provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma con dosis de 100Gy y el tratamiento control en condiciones de vivero.

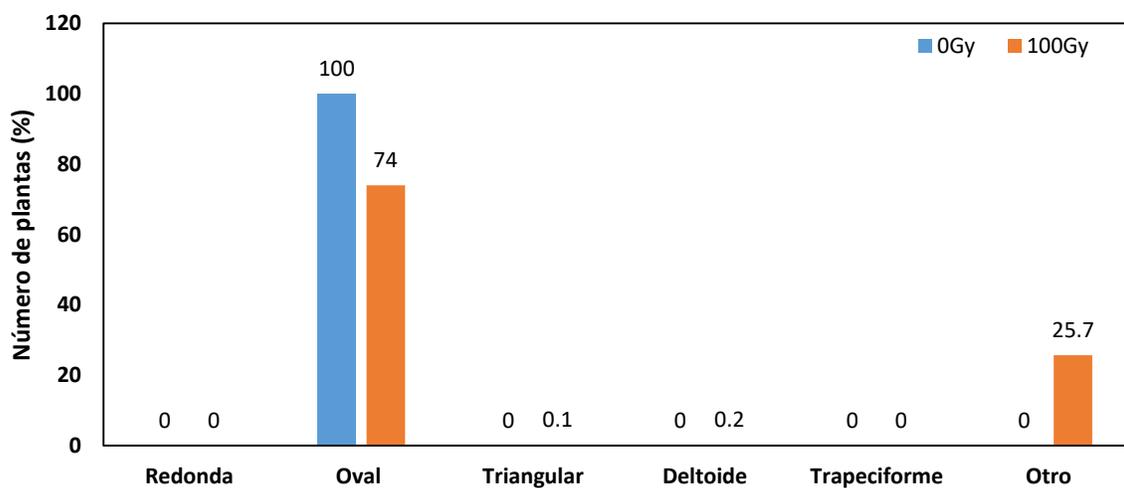
a) Hoja con mayor área blanca sub tono amarillo b) Brote nuevo con tres hojas por nudo de color blanco subtono amarillo c-d) hojas con áreas blancas de un mismo brote.

De igual modo se observaron cambios en el tipo de ápice en hojas de café (Figura 25). Todas las plantas no tratadas (0Gy) tuvieron el ápice de hojas tipo puntiagudo. En la población M1, con dosis de 100 Gy, se observó un 6% de hojas con ápice apiculada y un 28% de plantas con ápices fuera de tipo, diferentes al testigo sin irradiar (Figura 18).



**Figura 25:** Modificaciones de tipos de ápice de hoja en plantas de café var. Typica en una población M1, provenientes de semillas irradiadas con 100Gy en condiciones de vivero.

De igual modo se observaron modificaciones de la forma de estípulas en plantas de café (Figura 26). Todas las plantas no tratadas (0Gy) tuvieron estípula oval y la población M1 presentó un 25.7% de plantas con estípulas diferentes al tipo oval.



**Figura 26:** Modificaciones de tipos de estípulas de hoja en plantas de café var. Typica en una población M1, provenientes de semillas irradiadas con 100Gy en condiciones de vivero.

## V. CONCLUSIONES

- Radiación gamma afectó el nivel de germinación de semillas, la supervivencia de plantas, el crecimiento y la duración de las fases fenológicas de café var. Typica. Intensificándose el efecto negativo con el incremento de la dosis de 50 a 300 Gray, en condiciones de laboratorio, casa malla y vivero. Entre las dosis empleadas en el presente experimento se observó una mayor supervivencia de plántulas en la dosis de 100 Gry.
- La radiación gamma de 100 Gy provocó cambios somáticos en la población M1, observándose modificaciones en la forma de hojas, tipo de ápice, tipo de estipulas y color de hojas.

## VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar dosimetría en otras variedades de *Coffea arabica* L.
- La población de plantas M1 a nivel de campo se debe evaluar las variables como dimensiones y arquitectura de la planta, producción de flores, número de flores por nudo, esterilidad, comportamiento ante el estrés por enfermedades, plagas, falta de agua o de nutrientes.
- Obtener la población M2 para la selección de individuos con fenotipos deseables.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRODATAPERU. 2018. Café grano Perú, exportación 2017 diciembre (en línea). Lima, Perú. Consultado 7 may.2018. Disponible en <https://www.agrodataperu.com/2018/01/cafe-grano-peru-exportacion-2017-diciembre.html>
2. Ahloowalia, B; Maluszynski M y Nichterlein K. 2004. Global impact of mutation-derived qvarieties. *Euphytica* 135: 187.20 p.
3. Al-Salhi, M; Ghannam, M; Al-Ayed, M; El-Kameesy, S; Roshdy, S. 2004. Effect of gamma irradiation on the biophysical and morphological properties of corn. *Nahrung* 48, 95–98.
4. Alvarado, G. y Moreno, G. 2005. Cambio de la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. *Cenicafe* 56:110–126. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/185>.
5. Alvarado, M; Rojas, G. 2007. Características Botánicas del cultivo: El cultivo del café y beneficiado del café. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 184p
6. Anthony, F; Astorga, C; Berthaud, J. 1999. Los recursos genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, CR, IICA. p. 369-406. Consultado 20 abr.2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/282169951\\_Los\\_recursos\\_geneticos\\_las\\_bases\\_de\\_una\\_solucion\\_genetica\\_a\\_los\\_problemas\\_de\\_la\\_caficultura\\_latinoamericana](https://www.researchgate.net/publication/282169951_Los_recursos_geneticos_las_bases_de_una_solucion_genetica_a_los_problemas_de_la_caficultura_latinoamericana)
7. Anthony, F; Astorga, C; Topart, P; Bertrand, B; Lashermes, P. 2002. La caracterización de las variedades de café (*Coffea arabica*) por los marcadores moleculares: ¿mito o realidad? *Boletín PROMECAFE* N.º 93. p. 9-13. Consultado 20 abr.2018. Disponible en <http://promecafe.net/documents/Boletines/boletin93.pdf>

8. Araújo,S; Paparella ,S; Dondi ,D; Bentivoglio, A; Carbonera, D y Balestrazzi, A.2016 . Physical Methods for Seed Invigoration: Advantages and Challenges in Seed Technology. Front. Plant Sci. 7:646. doi: 10.3389/fpls.2016.00646.12p.1-5pp.
9. Arcila, J; Buhr, L; Bleihorder, H; Hack, H; Wicke, H.2001.Aplicación de la “Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (*Coffea* sp.). Boletín técnico N°23.CENICAFÉ. Colombia.31:23-28pp.
10. Arcila, J. 2004. Anormalidades en la floración del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé N° 320:1-8.
11. Arcila, J; Farfán, F; Moreno, A.M; Salazar, L.F; Hincapié, E.2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. 309 p.
12. Arena, C; De Micco, V; Macaeva, E y Quintens, R. 2014. Space radiation effects on plant and mammalian cells. Acta Astronaut. 104, 419–431. doi: 10.1016/j.actaastro.2014.05.005.
13. Argumedo, K. 2013. Inducción de mutaciones en trigo (*Triticum turgidum* spp. durum) selección Arequipa empleando Rayos gamma. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. 57 p.
14. Barnthouse, L. 1995. Effects of Ionizing Radiation on Terrestrial Plants and Animals: a Workshop Report," Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-13141.
15. Berjak, P; Pammenter, N.2010. Semillas ortodoxas y recalcitrantes. In Vozzo, JA. Manual de Semillas de Árboles Tropicales. Servicio Forestal, USDA. 887p. Consultado 13 abr.2018. Disponible en <http://www.rngr.net/publications/manual-de-semillas-de-arboles-tropicales>
16. Bolívar, C. 2009. Monografía sobre el galactomanano del grano de café y su importancia en el procesamiento para la obtención de café soluble. Pereira, Colombia. 112 p.
17. Borzouei, A; Naseriyan, B; Majdabadi, A; Kafi, M y Khazaei, H. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings.PakistanJ.Bot.42,2281–2290.
18. Buitrago, H.1983. Determinación del área foliar y velocidad de crecimiento de hojas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Chinchiná.

- Colombia. Informe anual de labores de la Sección de Fitopatología Julio 1982 - Junio 1983. p 2-12. (Mecanografiado).
19. Canul, K; García-Pérez, F; Campos-Bravo, E; Barrios-Gómez, E; De La Cruz-Torres, E; García-Andrade; Osuna-Canizalez, F y Ramírez S. 2012. Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,. México. pp. 1495-1507.
  20. Carvalho, A. 1946. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie Arabica. Bolétim da Superintendência dos Serviços do Café 21(229): 174-180.
  21. Carvalho, A; Anthunes Filho, H; Nogueira, R. 1954. Genética de Coffea. XX, Resultados preliminares do tratamento de sementes de café com raios-X. Bragantia, Campinas, 13: XVII-XX.Nota, 7.
  22. Carvalho, A; Antunez, H.1954. Genetic of coffea XIX. Somatic mutation affecting leaf color. Bragantia.Nota N°4.Consultado 24 abr.2018.Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/brag/v13nunico/29.pdf>.
  23. Carvalho, A. 1958.Advances in coffee production technology: recent advances in our knowledge of coffee trees. Genetics. Coffee & Tea Industries and the Flavor Field, New York, 81(11):30-36.
  24. Carvalho,A; Ferwerda, F.P; Frahm-Leliveld, J.A; Medina, P.M.; Mendes, A.J.T.; Monaco, L.e. 1969. Coffee. In Outlines of perennial crop breeding in the Tropics. Ed. por F.P. Ferwerda y F. Wit Wageningen, Paises Bajos. Veenman & Zonen NV. p. 189-241.
  25. Carvalho, C; Fernandes, R, Carvalho,GMA; Barreto ,R y Evans, H. 2011. Cryptosexuality and the Genetic Diversity Paradox in Coffee Rust, *Hemileia vastatrix*. Plos one 6(11): 6(11):1-7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026387>
  26. Castro Caicedo, B; Cortina Guerrero, HA; Rouxl, J; Wingfield, MJ. 2013. New coffee (*Coffea arabica*) genotypes derived from *Coffea canephora* exhibiting high levels of resistance to leaf rust and *Ceratocystis* canker. Tropical Plant Pathology 38(6): 485-494

27. CCCP (Central de Café y Cacao del Perú). 2011. Manual del Café (en línea). 121p. Consultado 10 may 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/document/344544978/Manual-Del-Cafe-pdf>
28. CEDICAFE (Centro de Investigación en Café).2014. Variedades de café (en línea). Boletín técnico diciembre. ANACAFE. Consultado 8 may.2018.Disponible en <http://anacafe.org/glifos/images/e/e2/Boletin-tecnico-dic-2014.pdf>
29. Chevrallier,A; Dagron, M. 1928. Recherches historiques sur les débuts de la culture du caféier en Amérique. Comunicaciones y Actas de la Academia de las Ciencias Coloniales. Paris, Francia. 38 p.
30. ChileBio,2017. Mejoramiento genético vegetal. Consultado 10 de Oct. 2017.Disponible en [http://www.chilebio.cl/?page\\_id=409](http://www.chilebio.cl/?page_id=409)
31. Clay, J. 2004. Coffee: in World Agriculture and the Environment. Washington, DC. Island Press. p. 69-91.
32. Coronel, MA. 2010. Estudio del café especial ecuatoriano. Quito, Ecuador.65 p.
33. CPC (Cámara Peruana de Café y Cacao), PGC (Global Coffee Plataform), JNC (Junta Nacional de Café) .2017. Boletín estadístico: café de Perú (en línea). Consultado 7 may.2018. Disponible en <http://camcafeperu.com.pe/wp-content/uploads/2017/12/Boletin-estadistico-camcafe-19-12-2017-vf1.pdf>
34. Cubero J. 2003.Introducción a la mejora genética vegetal. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. S.A.
35. DAS (Programa Desarrollo Alternativo en Satipo). 2017. Café Sostenible Manual DAS.Perú.93p.20-35pp.Disponible en <http://das.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/MANUAL-CAFE-SOSTENIBLE.pdf>
36. da Rosa, S; McDonald, M; Veiga, A; Vilela, F. de L. and Ferreira, I. 2010. Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. Seed Sci. & Technol., 38, 421-431.
37. da Silva, E; Toorop, P; van Aelst, A y Hilhorst, H. (2004). Abscisic acid controls embryo growth potential and endosperm cap weakning during coffee (*Coffea arabica* L. cv. Rubi) seed germination. Planta, 220, 251-261.
38. Datta, S. 2009. A report on 36 years of practical (*Zea mays*) coleoptiles. Environmental Experimental work on crop improvement through induce Botany,

- 41(2): 131-143. mutagenesis. In Abdel- Maksoud, B., 1992. Induced plant mutations in the 35. Gamma rays effect on genomics Fra, Shu, Q.Y. (Fd) Food and Agriculture Solanum pseudocapsicum L., I. The M 1- generation. Organization of the United Nations, Rome, Alexandria Journal Agriculture Research, 37: 227-247. pp: 253-256.
39. Dedecca, D. 1957. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. Typica Cramer. *Bragantia* 16: 315-355.
40. De la Cruz, E y García, J. 2011. La importancia del registro ante el SNICS. Caso: Pseudocereales Opohuira. *Contacto nuclear*. 60: 38-40.
41. Dentan, E. 1985. The microscopic structure of the coffee bean. In *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*, (eds. M.N. Clifford and K.C. Willson), pp. 284-304, Croombelm, London.
42. Díaz, C; Carmen, M. 2017. Línea base del sector café en el Perú (en línea). Lima, Perú, PNUD. 55 p. Consultado 7 may.2018. Disponible en [http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/library/environment\\_energy/linea-de-base-del-sector-cafe-en-el-peru/](http://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/library/environment_energy/linea-de-base-del-sector-cafe-en-el-peru/)
43. Donà, M; Ventura, L; Macovei, A; Confalonieri, M; Savio, M; Giovannini, A; Carbonera, A y Balestrazzi, M. 2013. Gamma irradiation with different dose rates induces different DNA damage responses in *Petunia x hybrida* cells. *Journal of Plant Physiology*. 170(8): 780.
44. Dulloo, DE; Charrier, A; Dussert, S; Anthony, F; Tesfaye, S; Rakotomalala, JJ; Agwanda, C; Legnate, S. 2001. Conservation of coffee genetic resources: constraints and opportunities. Presented In International Scientific Colloquium on Coffee (19, 2001, Trieste, IT). ASIC. 10 p.
45. Dussert, S; Chabrillange, N; Engelmann, F; Anthony, F; Louarn, J y Hamon, S. 1998. Cryopreservation of seeds of four coffee species (*Coffea arabica*, *C. costatifructa*, *C. racemosa* and *C. sessiliflora*): importance of water content and cooling rate. *Seed Sci. Res.* 8, 9-15.
46. Eira, M; da Silva, E; de Castro, R; Dussert, S; Walters, C; Bewley, J y Hilhorst, H. 2006. Coffee seed physiology. *Braz. J. Plant Physiol.* 18(1), 149-163. 15 p.
47. Elliot F. 1964. *Citogenética y Manejo de Plantas*. Cía Editorial Continental S.A. México, D.F

48. Expocafé.2017.Variedades de café en el Perú(en línea).Consultado 8 may.2018.Disponible en <http://www.expocafeperu.com.pe/CafePeruano.php>
49. Farrant, J; Pammenter, N; Berjak, P. 1993. Seed development in relation to desiccation tolerance, a comparison between desiccation- sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation-tolerant types. *Seed Science Research*. 3: 1-13.
50. FAO. División de Estadística. Consultado 25 agost.2018. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data>
51. Figueroa, R. 1990. Caficultura en el Perú. Editorial Fiessa. Lima, Perú. pp 34.
52. Fita, A; Rodríguez – Barruezo,A y Prohens J. 2008. Genética y Mejora Vegetal. España, Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
53. García, A; Porras, I; Jiménez, J. 2010. Primer congreso peruano de mejoramiento genético y biotecnología agrícola: Evaluación del efecto de la azida de sodio en la germinación de la semilla de quinua para la inducción de mutaciones. Escuela de Postgrado Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 160 pp. Disponible en <http://docplayer.es/75107489-Primer-congreso-peruano-de-mejoramiento-genetico-y-biotecnologia-agricola-proceeding.html>.
54. García, E.2016. Variedades de café (en línea). Consultado 8 may.2018.Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades\\_de\\_cafe](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_de_cafe)
55. Gentil, D. 2001. Conservação de sementes do cafeeiro: resultados discordantes ou complementares. *Bragantia* 60(3), 149-154.
56. Gomez, O; Ramos, C; Alegría, B; Rodriguez, R; Martinez, M.2010.Guía para la innovación de la caficultura(en línea).FUNDESRYAM. El Salvador.10-15pp. Disponible en [http://www.fundesryam.info/document/PDFPUB/GUIA\\_CAFE\\_OK.pdf](http://www.fundesryam.info/document/PDFPUB/GUIA_CAFE_OK.pdf)
57. Hameed, A; Mahmud, T; Atta, B; Haq, M.A; Sayed, H.2008. Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pak. J. Bot.* 40, 1033–1041.

58. Huxley, P. 1964. The effects of hydrogen-ion concentration, temperature and seed drying method on the germination of coffee seeds. *Proceedings International Seed Testing Association* 29:61-70.
59. Infocafes. Producción de café en Perú (en línea, sitio web). Consultado 7 may.2018. Disponible en <https://infocafes.com/portal/infocafes/produccion-de-cafe-en-peru/>
60. INDECI (Instituto Nacional de defensa civil).2014. Incremento de la enfermedad roya amarilla afecta cultivo de café en departamentos del Perú (en línea).9 p. Informe N° 9. Lima, Perú. Consultado 8 may.2018. Disponible en <https://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTAyNQ==/20141212175852.pdf>
61. Ignacio, S.2007. Caracterización morfológica y agronómica de la colección núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE. Tesis Mg.Sc. Turrialba, CR, CATIE.103 p.
62. IPGRI,2014. Descriptores del café (en línea) .Consultado 10 de oct.2017. Disponible en [http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx\\_news/Descriptores\\_del\\_caf%C3%A9\\_y\\_Psilanthus\\_spp.\\_487.pdf](http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Descriptores_del_caf%C3%A9_y_Psilanthus_spp._487.pdf)
63. Irfaq, M y Nawab, K. 2001. Effect of gamma irradiation on some morphological characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *J.Biol.Sci.*1,935–937.doi:10.3923/jbs.2001.935.937.
64. Jaramillo, A.; Guzmán, O.1984. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé* 35:57-65.
65. JNC (Junta Nacional del Café). Historia del café en Perú (en línea, sitio web). Consultado el: 6 de Oct. 2017.Disponible en: <http://juntadelcafe.org.pe/recursos/educativos/cafe-peruano/historia>
66. Jayawardena,S y Peiris, R. 1988. Food crops breeding in Sri Lanka achievements and challenges. *BIONews*4,22–34.
67. 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. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol. 17 (3).

68. Julca,A; Julca,N;Andía,J y Crespo,R.2008.Relaciones biométricas y modelos de crecimiento del café “Caturra roja” en condiciones de vivero.Proc.Interamer.Soc.Trop.Hort.52:81-84.
69. Krug, C.A;Mendes, J.E.T.; Carvalho, A. 1939. Taxonomía de *Coffea arabica* L.: descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo. Bolétim Técnico N°. 62. Sao Paolo, BrasiI, Instituto Agronômico do Estado em Campinas. 55 p.
70. Koolman,J; Rohm, K. 2004 Bioquímica: texto y atlas. Ed. Médica Panamericana, España. 488 pp.
71. Kodym,A; Afzaa,R; .Forstera,B; Ukaid,Y;Nakagawae,H and Mba,C. 2011.Methodology for Physical and Chemical Mutagenic Treatments.In Shu,Q ;Forster,B and Nakagawa,H. Plant Mutation Breeding and Biotecnology. Plant Breeding and Genetics Section Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
72. Kovács, E y Keresztes, Á. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plantcells. Micron33,199–210.doi:10.1016/S0968-4328(01)00012-9.
73. Lashermes, P; Trouslot, P; Anthony, F; Combes, MC; Charrier, A. 1996. Genetic diversity for RAPD markers between cultivated and wild accessions of *Coffea arabica*. Euphytica 87(1):59-64.
74. Lashermes, P; Paczek, V; Trouslot, P; Combes, MC; Couturon, E; Charrier, A. 2000. Singlelocus inheritance in the allotetraploid *Coffea arabica* L. and intespecific hybrid *C. arabica* x *C. canephora*. The Journal of Heridity 91(1):81-85.
75. León, J; Fournier, L. 1962.Crecimiento y desarrollo del fruto de Coffea arabica L. Turrialba 12:65-74.
76. León, J. 1987. Botánica de los cultivos Tropicales. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). San José, Costa Rica. pág. 194-203.
77. León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. aum. y rev. San José, CR, IICA. p. 350-364.

78. Libreros, E.1989. Bolsas de futuros en café: principales características. Ensayos de Economía Cafetera N°4 (en línea). Colombia. Consultado 8 de may. 2018.Disponible en [https://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/ensayos\\_sobre\\_economia\\_cafetera/](https://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/ensayos_sobre_economia_cafetera/)
79. López, RJ. 2006. Caracterización de tres variedades de café (*Coffea arabica*) en tres zonas ecológicas del país. Tesis Lic. Universidad de San Carlos de Guatemala.68 p.
80. Mayta, M.2016. Dosimetría de rayos gamma para la inducción de mutación en cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis MgSc . Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).
81. Marcu, D; Damian, G; Cosma, C y Cristea, V. 2013. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). J. Biol. Phys. 39, 625–634. doi: 10.1007/s10867-013-9322-
82. Mendes, A.1941.Cytological observations in *Coffea*: embryo and endosperm development in *Coffea arabica* L. Am. J. Bot. 28:784-789.
83. Mendes, A. 1955. Observações citológicas em *Coffea*. XIX. Monossômios. Bragantia, Campinas, 14:137-140.
84. Micke A. 1988. Genetic improvement of grain legumes using induced mutations. An overview. In Improvement of Grain Legume Production Using Induced Mutations. IAEA. Vienna.1-51 p
85. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2015. Especial IV CENAGRO (en línea, sitio web).Consultado 8 may.2018.Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/24-sector-agrario/cafe/199-cotizaciones-internacionales>
86. Moh, C y Orbezo, G.1960. The induction of angustifolia mutants in coffee in the R1 generation by ionizing radiations. Genetics, 45:1000.
87. Moh, C.1961. Does a coffee plant develop from one initial cell in the shoot apex of an embryo? Radiation Botany, 1:97-99.
88. Mokobia,C y Anomohanran,O. 2005.The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops. J. Radiol. Prot.25,181–188.doi:10.1088/0952-4746/25/2/006.

89. Moussa, H. 2006. Role of gamma irradiation in regulation of NO<sub>3</sub> level in rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plants. Russ.J. PlantPhysiol.53, 193-197.doi:10.1134/S1021443706020075.
90. Novak, F y Brunner, H.1992. Fitotécnia: tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos. Boletín de OIEA.9 p.
91. Nutman, F.J. 1933.The root system of *Coffea arabica* L. I. Root system in typical soil of British East Africa. Journal of Experimental Agriculture 1: 271-284.
92. OIC (Organización Internacional de café). 2017. Mercado de café-diciembre 2017(en línea).6p. Informe OIC N°12.Consultado 8 may. 2018.Disponible en <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-1217-c.pdf>
93. OIC (Organización Internacional de café). 2018. Mercado de café-enero 2018(en línea). 6p. Informe OIC N°1. Consultado 8 may. 2018. Disponible en <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0118-c.pdf>
94. Oliva, R. 2004. Genética médica. Ediciones Universitat Barcelona, España. 346pp.
95. Orozco, FJ.1986. Descripción de especies y variedades de café (en línea). Boletín técnico N°11.CENICAFE. Consultado 8 may.2018. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/597/1/011.pdf>
96. PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2017. Infografía: Café peruano, motor de desarrollo sostenible (en línea). Lima, Perú. Programa Green Commodities. Consultado 7 may. 2018. Disponible en [http://www.pe.undp.org/content/dam/peru/docs/Gobernabilidad%20democr%C3%A1tica/Infograf%C3%ADa%20caf%C3%A9%20peruano%252c%20motor%20de%20desarrollo%20versi%C3%B3n%20online%2008may-ilovepdf-compressed%20\(3\).pdf](http://www.pe.undp.org/content/dam/peru/docs/Gobernabilidad%20democr%C3%A1tica/Infograf%C3%ADa%20caf%C3%A9%20peruano%252c%20motor%20de%20desarrollo%20versi%C3%B3n%20online%2008may-ilovepdf-compressed%20(3).pdf)
97. Poehlman, J. y Sleper, D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. México. Editorial Limusa. 511 p.
98. Puerta,G; Quiceno, A.; Zuluaga, J.1988. La calidad del café verde: composición, proceso y análisis. Chinchiná.Cenicafé. 251 p.
99. Regalado O, A. 2006. ¿Qué es la calidad en el café?. Chapingo, ME. Universidad Autónoma Chapingo. 309 p.

100. Reid, J y Howell S.1995.Hormone mutants and plant development. In Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology, P.J.Davies,ed.,Kluwer,Dordrecht,Netherlands,pp 448-485.
101. Rimache, M. 2008. Cultivo del café. Editorial Comercializadora El Bibliotecólogo.
102. Robles, S. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. México. Editorial Limusa. 477 p.
103. Ross,J; Reid J; Gaskin P y Macmillan J. 1989. Internode length in Pisum. Estimation of GA1 levels in genotypes *Le,le* and *led*.*Physiol.Plant*.76: 173-176.
104. Sanjinez, F. 2001. Mejoramiento Genético del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa*), mediante mutaciones inducidas. Tesis MSc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).78 p.
105. SCAN (Sustainable Commodity Assistance Network).2015. Guía de factores que inciden en la calidad del café (en línea). Guatemala.100 p. Consultado 18 mar. 2018. Disponible en <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/Guia-de-Factores-de-Calidad-web.pdf>.
106. SCAN (Sustainable Commodity Assistance Network). Mejoramiento Tecnológico del Cafetal: desarrollemos nuestra caficultura para que sea altamente productiva, rentable y sostenible (en línea). Díptico 1(18). Perú. Consultado 18 marz.2018. Disponible en <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/DIPTICO-1-n.pdf>.
107. SEPA-MINAGRI (Series estadísticas de producción agrícola). Consultado 25 agost.2018. Disponible en <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
108. Shu , Q y Lagoda, P. 2007. Mutation techniques for gene discovery and crop improvement. *Mol Plant Breed*. 5: 193-195.
109. Shu,Q ;Forster,B and Nakagawa,H.2011. Plant Mutation Breeding and Biotechnology. Plant Breeding and Genetics Section Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
110. Solidaridad.2016. Café 2.0 climáticamente inteligente (en línea). Lima, Perú. 59 p. Consultado 7 may.2018. Disponible en

<https://www.solidaridadsouthamerica.org/es/publications/caf%C3%A9-20-clim%C3%A1ticamente-inteligente>.

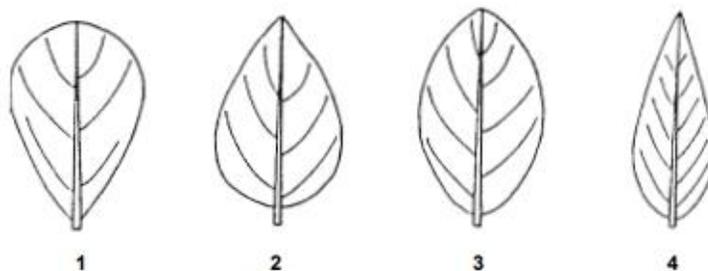
111. Songri, P; Suriharn, B; Sanitchon,J; Srisawangwong,S y Kesmala,T.2011. Effects of Gamma Radiation on Germination and Growth Characteristics of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). *Journal of Biological Sciences*, 11: 268-274. **DOI:** 10.3923/jbs.2011.268.274
112. Suárez de C., F.1953. Distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso. *Boletín Técnico Cenicafé* 1(12): 5-28.
113. Taiz, L y Zeiger, E.2006.Fisiología vegetal. Traducción de *Plant Physiology*.3er ed. Universitat Jaume I. 881-936pp.
114. Takaki, M; Dietrich, S.1979.Effect of giberellic acid on peroxidase from coffee seeds during germination. *Hoehnea* 8:29-33.
115. Temis-Pérez, A; López-Malo, A; Sosa-Morales, M. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5 (2): 54 – 74.
116. Tullmann, A.1997. Utilización de radiaciones gamma en el mejoamiento genético de plantas autógamas. En *Curso Mutaciones Inducidas en el mejoramiento de plantas*.AIEA-UDO,Núcleo Monagas.
117. Valencia, A.1970 Tratamientos para acelerar la germinación de la semilla de café. *Revista Cafetera de Colombia*. 19(146):55-59.
118. Valencia, G.1994. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná.Cenicafé, *Agroinsumos del Café*. 94 p.
119. Van der Vossen, H.A.M., 2009. The cup quality of disease-resistant cultivars of Arabica coffee (*Coffea arabica*). *Experimental Agriculture*. 45(3): 323-332.
120. Vargas, L.2016. Efecto de la azida sódica( $\text{NaN}_3$ ) en la germinación y morfología post germinación en café (*Coffea* sp). Tesis Biól.. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).
121. Várzea,Vy Marques,D.2005. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In Zambolim L, Zambolim EM, Várzea VMP (eds) *Durable Resistance to Coffee Leaf Rust*. UFV, Viçosa, p. 53-74.

122. Várzea, V.2015. Actualización sobre el Centro de Investigación de la Roya del Café. ICO (PSCB). 41th meeting 2 October 2015. Milán (en línea). Consultado 8 may. 2018.Disponible en <http://www.ico.org/documents/cy2014-15/Presentations/115-pscb-coffee-leaf-rust-research-centre.pdf>
123. Watkin, W. 1965. Principios de genética y mejora de las plantas. Editorial Acribia. Zaragoza, España.527 p.
124. WCR (World Coffee Research). 2018. Las variedades del café arábica(en línea).Consultado 9 may.2018 Disponible en [https://worldcoffeeresearch.org/media/documents/las\\_variedades\\_del\\_cafe\\_arabica\\_v2\\_feb\\_2018.pdf](https://worldcoffeeresearch.org/media/documents/las_variedades_del_cafe_arabica_v2_feb_2018.pdf)
125. Wellman, L. 1961. Coffee. Botany, cultivation and utilization. World crops Books. London. Inglaterra. 488 p.
126. Wi, S.G., B.Y. Chung, J.H. Kim, M.H. Baek, D.H. Yang, J.W. Lee y J.S. Kim. 2005. Ultrastructural changes of cell organelles in Arabidopsis stem after gamma irradiation. *Journal Plant Biology*, 482: 195-200.
127. Wilches M, AV. 1995. Uso de los marcadores moleculares RAPDs para evaluar la diversidad genética de los recursos genéticos de café (*Coffea arabica* L). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 56 p.
128. Wintgens, N. 2009. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Ed. Jean Nicolas Wintgens. 2 ed. Weinheim, DE. 982 p.
129. Wolfrom, M; Laver, M y Patin, D. 1961. Carbohydrates of coffee bean: isolation and characterization of a mannan. *Journal Organic Chemistry*, 26, 4533-4536.
130. Wolfrom, M y Patin, D. 1964. Isolation and characterization of cellulose in the coffee bean. *Agricultural Food Chemistry*, 12, 376-377.
131. Wolff, S; Coelho, L.; Karoliussen, I y Jost, A.-I. K. 2014. Effects of the extraterrestrial Environment on plants: recommendations for future space experiments for the MELiSSA higher plant compartment. *Life* 4, 189–204. doi: 10.3390/life4020189.
132. Zamarripa, A.; Escamilla, E. 2002. Variedades de café en México: origen, características y perspectivas. Universidad Autónoma de Chapingo. Veracruz, México.

## VIII. ANEXOS

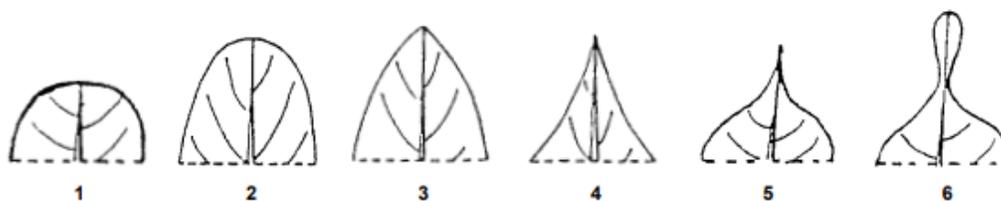
### Descriptores de café según IPGRI (1996)

#### Forma de hoja



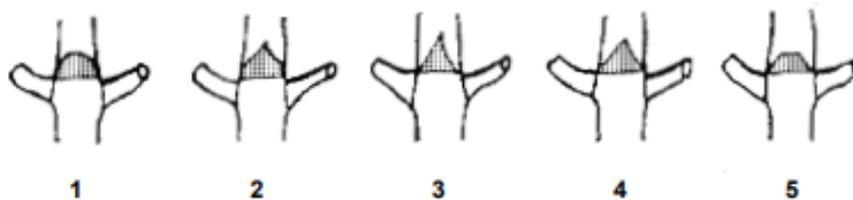
(1) Obovada (2) Ovada (3) Elíptica (4) Lanceolada

#### Forma de ápice de hoja



(1) Redonda (2) Obtusa (3) Aguda (4) Puntiguda (5) Apiculada (6) Espatulada

#### Forma de la estípula



(1) Redonda (2) Oval (3) Triangular (4) Deltoide (5) Trapeciforme