



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE FÍSICA

**“INDUCCIÓN A LA VARIABILIDAD GENOTÍPICA EN
SEMILLAS DE FREJOL (*PHASEOLUS VULGARIS L.*), MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN
IONIZANTE DE UNA FUENTE DE URANIO-238”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar el grado académico de:

FÍSICO

AUTORES: ESTEBAN JOAO DEFAZ MEJÍA

NADIA VANESSA TORRES NARVÁEZ

DIRECTORA: Biof. VILMA NOHEMÍ YANCHAPANTA BASTIDAS Mgs.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Esteban Joao Defaz Mejía & Nadia Vanessa Torres Narváez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Esteban Joao Defaz Mejía y Nadia Vanessa Torres Narváez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de agosto de 2021



Esteban Joao Defaz Mejía
230004297-1



Nadia Vanessa Torres Narváez
100440120-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Integrador, **INDUCCIÓN A LA VARIABILIDAD GENOTÍPICA EN SEMILLAS DE FREJOL (*PHASEOLUS VULGARIS L.*)**, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE DE UNA FUENTE DE URANIO-238, realizado por el señor y la señorita: **ESTEBAN JOAO DEFAZ MEJÍA Y NADIA VANESSA TORRES NARVÁEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Miguel Ángel Saez Paguay MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MIGUEL ANGEL SAEZ PAGUAY	2021-08-27
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas MGS. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por VILMA NOHEMI YANCHAPANTA BASTIDAS Fecha: 2021.09.21 10-35-36 -0500	2021-08-27
Dr. Richard Willians Pachacama Choca MGS. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA	2021-08-27

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, especialmente a mi madre y hermanos.

Esteban Defaz

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia, principalmente a mis padres Klever y Zemía quienes han sido mi guía, y ayuda incondicional, a mis hermanas Cami y Emi que siempre serán mi apoyo, el mejor de mis regalos.

Nadia Torres

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la fuerza para seguir día a día, a nuestros padres por su apoyo y paciencia incondicional.

A todas las personas que lo hicieron posible, de manera especial a la Biof. Vilma Yanchapanta directora de nuestro proyecto integrador y al Dr. Richard Pachacama, quienes con sus conocimientos fueron guía para que este trabajo sea concluido con éxito.

Esteban & Nadia

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	6
1.1. El frejol	6
1.1.1. <i>Origen</i>	6
1.1.2. <i>Clasificación Taxonómica</i>	7
1.1.3. <i>Descripción morfológica</i>	7
1.1.3.1. <i>Raíz</i>	7
1.1.3.2. <i>Tallo</i>	8
1.1.3.3. <i>Hojas</i>	8
1.1.3.4. <i>Flor</i>	8
1.1.3.5. <i>Fruto</i>	8
1.1.4. <i>Etapas de desarrollo en la planta de frejol</i>	8
1.1.4.1. <i>Etapas de la fase vegetativa</i>	10
1.1.4.2. <i>Etapas de la fase reproductiva</i>	10
1.1.5. <i>Propiedades alimentarias del frejol</i>	11
1.1.6. <i>Variedad INIAP 480 Rocha</i>	11
1.2. Mutagénesis utilizando radiación ionizante	12
1.2.1. <i>Magnitudes y unidades básicas</i>	13
1.2.1.1. <i>Dosis Absorbida</i>	13
1.2.1.2. <i>Dosis Equivalente</i>	14
1.2.1.3. <i>Dosis Efectiva</i>	14
1.2.1.4. <i>Intensidad de la Radiación</i>	15
1.2.2. <i>Mecanismos de acción de los agentes mutágenos físicos</i>	15
1.3. Radiación en la agricultura	16
1.3.1. <i>Variabilidad Inducida en frejol (Phaseolus Vulgaris L.)</i>	17
1.4. Uranio	17

1.4.1.	<i>Decaimiento del uranio-238</i>	17
1.4.2.	<i>Descripción de la fuente</i>	18
1.5.	Electretes	19
1.6.	Detectores gaseosos de ionización	20
1.6.1.	<i>Contador Geiger-Müller</i>	21
1.6.1.1.	<i>The Ranger EXP</i>	21

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	20
2.1.	Tipo de Investigación	20
2.2.	Diseño de Investigación	20
2.2.1.	<i>Identificación de variables</i>	21
2.2.2.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	21
2.2.3.	<i>Matriz de consistencia</i>	21
2.2.4.	<i>Operacionalización de variables</i>	22
2.2.5.	<i>Localización del estudio</i>	23
2.2.6.	<i>Población de estudio</i>	23
2.2.7.	<i>Tamaño de la muestra</i>	23
2.2.8.	<i>Método de muestreo</i>	24
2.3.	Características de Equipos y Materiales	24
2.3.1.	<i>Diseño del montaje</i>	24
2.3.2.	<i>Fuente de Uranio-238</i>	25
2.3.3.	<i>Rad Elec Inc</i>	26
2.3.4.	<i>Software USB Observador</i>	27
2.4.	Procedimiento y manejo de las semillas	28
2.4.1.	<i>Uso del electrete</i>	28
2.4.2.	<i>Irradiación de las semillas</i>	29
2.4.3.	<i>Transporte de las semillas</i>	30
2.4.4.	Germinación	31
2.4.4.1.	<i>Procedimiento</i>	31
2.4.5.	Sembrado	33
2.4.5.1.	<i>Preparación del terreno</i>	33
2.4.5.2.	<i>Proceso de sembrado</i>	34
2.4.5.3.	<i>Crecimiento</i>	35
2.5.	Diagrama de flujo del marco metodológico	35

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
3.1.	Análisis de Resultados	37
3.1.1.	<i>Niveles de dosis de radiación ionizante</i>	37
3.1.1.1.	<i>Dosis Absorbida</i>	37
3.1.1.2.	<i>Planteamiento de la Hipótesis</i>	44
3.1.2.	<i>Efectos y cambios fenotípicos</i>	48
3.1.2.1.	<i>Germinación</i>	48
3.1.2.2.	<i>Hojas</i>	55
3.1.2.3.	<i>Tallo</i>	66
3.2.	Ley del inverso al cuadrado	72
3.3.	Discusión de Resultados	73
	CONCLUSIONES	76
	RECOMENDACIONES	77
	GLOSARIO	78
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación Taxonómica de frejol (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.), en el año 2014.....	7
Tabla 2-1:	Etapas de la Fase Vegetativa, en el año 1987.....	10
Tabla 3-1:	Etapas de la Fase Reproductiva, en el año 1987.....	10
Tabla 4-1:	Características Morfológicas de la variedad INIAP 480 Rocha, en el año 2009	12
Tabla 5-1:	Magnitudes y unidades básicas, en el año 2016	13
Tabla 6-1:	Factores de ponderación de radiación recomendados, en el año 2004.....	14
Tabla 7-1:	Propiedades de los isótopos del Uranio, en el año 2001.....	17
Tabla 8-1:	Descripción de los isótopos que constituyen la roca, en el año 2019	18
Tabla 1-2:	Matriz de consistencia, en el año 2021.....	21
Tabla 2-2:	Operacionalización de variables, en el año 2021.....	22
Tabla 3-2:	Radionúclidos presentes en la fuente, en el año 2019	26
Tabla 1-3:	Datos y respuesta del electrete (dosímetro), en el año 2021	37
Tabla 2-3:	Datos y respuesta del electrete (dosímetro), en el año 2021	38
Tabla 3-3:	Dosis Absorbida por grupos, en el año 2021.....	38
Tabla 4-3:	Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 10min, en el año 2021	40
Tabla 5-3:	Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 15min, en el año 2021	41
Tabla 6-3:	Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 30min, en el año 2021	42
Tabla 7-3:	Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 45min, en el año 2021	43
Tabla 8-3:	Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 60min, en el año 2021	44
Tabla 9-3:	Hipótesis de la dosis absorbida a distintos tiempos de exposición, en el año 2021	45
Tabla 10-3:	Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021	46
Tabla 11-3:	Resumen de ANOVA Datos, en el año 2021	47
Tabla 12-3:	Cambios fenotípicos presentes durante la germinación, en el año 2021.....	49
Tabla 13-3:	Análisis comparativo entre el número de semillas y el número de plantas germinadas, en el año 2021	49
Tabla 14-3:	Promedio de longitud de la radícula, en el año 2021.....	50
Tabla 15-3:	Hipótesis del promedio de la longitud de la radícula a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021.....	51
Tabla 16-3:	Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021	52

Tabla 17-3:	Resumen de ANOVA Datos, en el año 2021	54
Tabla 18-3:	Cambios fenotípicos presentes en el crecimiento de la planta, en el año 2021 ...	56
Tabla 19-3:	Análisis comparativo entre el número de plantas germinadas y el número de plantas emergentes, en el año 2021	56
Tabla 20-3:	Promedio tamaño hojas primarias, en el año 2021	57
Tabla 21-3:	Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas principales a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021	58
Tabla 22-3:	Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021	59
Tabla 23-3:	Resumen de ANOVA datos, en el año 2021	61
Tabla 24-3:	Promedio tamaño hojas trifoliadas, en el año 2021	62
Tabla 25-3:	Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021	63
Tabla 26-3:	Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021	64
Tabla 27-3:	Resumen de ANOVA datos, en el año 2021	65
Tabla 28-3:	Cambios fenotípicos presentes hasta la finalización de la etapa vegetativa, en el año 2021	67
Tabla 29-3:	Promedio longitud del tallo, en el año 2021	67
Tabla 30-3:	Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021	68
Tabla 31-3:	Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021	69
Tabla 32-3:	Resumen de ANOVA datos, en el año 2021	71
Tabla 33-3:	Promedio de los datos del detector Ranger EXP, en el año 2021	72
Tabla 34-3:	Resultados de la aplicación de la ley del inverso al cuadrado, en el año 2021 ...	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Etapas de desarrollo de la planta de frejol.....	9
Figura 2-1.	Escala de desarrollo de una planta de frejol.....	9
Figura 3-1.	Radiación Ionizante	13
Figura 4-1.	Funcionamiento básico de la cámara de iones electrete para medir radón en aire	20
Figura 5-1.	The Ranger EXP	21
Figura 1-2.	Diseño inicial usando FreeCAD 0.18	24
Figura 2-2.	Diseño utilizando FreeCAD 0.18.....	25
Figura 3-2.	Diseño final usando FreeCAD 0.18	25
Figura 4-2.	Fuente de Uranio-238	26
Figura 5-2.	Rad Elec Inc	27
Figura 6-2.	Software USB Observador.....	28
Figura 7-2.	Electrete.....	29
Figura 8-2.	Cámara de iones electrete (E-PERM) y fuente de Uranio-238.....	29
Figura 9-2.	Lector Rad Elec Inc	29
Figura 10-2.	Colocación de fuente y semillas	30
Figura 11-2.	Irradiación de semillas	30
Figura 12-2.	Contenedor para el transporte de las semillas	31
Figura 13-2.	Materiales usados para la germinación	31
Figura 14-2.	Peso de las semillas	31
Figura 15-2.	Etiquetado de las semillas.....	32
Figura 16-2.	Colocación del algodón	32
Figura 17-2.	Humedecimiento del algodón	32
Figura 18-2.	Colocación de la semilla en el algodón.....	33
Figura 19-2.	Cubrimiento de la semilla.....	33
Figura 20-2.	Preparación del terreno	34
Figura 21-2.	Sembrado de las semillas	34
Figura 22-2.	Sembrado de las semillas	34
Figura 23-2.	Planta de frejol en estado V2	35
Figura 24-2.	Planta de frejol en estado V3	35
Figura 25-2.	Diagrama de flujo del marco metodológico.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1.	Composición de la fuente de origen natural (roca)	19
Gráfico 1-3.	Diagrama de dispersión entre las dosis absorbidas de los grupos con respecto al tiempo	39
Gráfico 2-3.	Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 10min	40
Gráfico 3-3.	Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 15min	41
Gráfico 4-3.	Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 30min	42
Gráfico 5-3.	Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 45min	43
Gráfico 6-3.	Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 60min	44
Gráfico 7-3.	Comportamiento de la dosis absorbida con respecto al tiempo	48
Gráfico 8-3.	Histograma comparativo entre el número de semillas y el número de plantas germinadas	50
Gráfico 9-3.	Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio de longitud de la radícula.....	51
Gráfico 10-3.	Comportamiento de PLR.....	54
Gráfico 11-3.	Histograma comparativo entre el número de plantas germinadas y el número de plantas emergentes	57
Gráfico 12-3.	Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio del tamaño de las hojas primarias	58
Gráfico 13-3.	Comportamiento de PTHP	61
Gráfico 14-3.	Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas	62
Gráfico 15-3.	Comportamiento de PTHT	66
Gráfico 16-3.	Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio de longitud del tallo	68
Gráfico 17-3.	Comportamiento de PLT	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

ANEXO B: CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO

ANEXO C: FOTOGRAFÍAS DEL TIC

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo inducir a la variabilidad genotípica a las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), mediante la aplicación de diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Uranio-238, con el fin de mejorar estas semillas, ya que en el Ecuador su producción se ha visto afectada por agentes fitopatógenos; razón por la cual se busca un método alternativo de control. Este trabajo de investigación inicia con el desarrollo de un montaje experimental adecuado para la respectiva irradiación de las semillas en los tiempos de exposición previamente establecidos de 10, 15, 30, 45 y 60 minutos; donde se pudo determinar la dosis de radiación ionizante emitida por la fuente radioactiva con ayuda del electrete. Posteriormente se realizó el transporte, germinación y siembra de las semillas con el fin de determinar los efectos fenotípicos que estas presentaron al ser sometidas a la radiación ionizante. Obteniendo así que los niveles de dosis en los que se irradio las semillas no son lo suficientemente significativos como para observar algún cambio fenotípico favorable; por lo tanto se concluye que la dosis depende del tiempo y no se presentó variabilidad genotípica relevante en las plantas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) hasta la finalización de su etapa vegetativa, por lo que se recomienda continuar con los estudios y determinar si la fuente de radiación sirve para cumplir con el objetivo.

Palabras clave: <RADIACIÓN IONIZANTE>, <IRRADIACIÓN>, <DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE>, <FREJOL (*Phaseolus Vulgaris L.*)>, <URANIO-238>, <TIEMPO DE EXPOSICIÓN >, < FENOTIPO>, <VARIABILIDAD>.



1780-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of this research work was to induce genotypic variability in bean seeds (*Phaseolus Vulgaris* L.), through the application of different doses of ionising radiation from a source of Uranium-238, with the aim of improving these seeds, since in Ecuador their production has been affected by phytopathogenic agents, which is why an alternative method of control is being sought. This research work began with the development of an appropriate experimental set-up for the respective irradiation of the seeds in the previously established exposure times of 10, 15, 30, 45 and 60 minutes, where the dose of ionising radiation emitted by the radioactive source could be determined with the help of the electret. Subsequently, the seeds were transported, germinated, and sown in order to determine the phenotypic effects they showed when subjected to ionising radiation. It was thus obtained that the dose levels at which the seeds were irradiated were not significant enough to observe any favourable phenotypic change; it is therefore concluded that the dose depends on time and that there was no relevant genotypic variability in the bean plants (*Phaseolus Vulgaris* L.) until the end of their vegetative stage, and it is therefore recommended to continue with the studies and determine whether the radiation source serves to fulfil the objective.

Key words: <IONISING RADIATION>, <IRRADIATION>, <IONISING RADIATION DOSAGE>, <FREJOL (*Phaseolus Vulgaris* L.)>, <URANIUM-238>, <EXPOSURE TIME>, <PHENOTYPE>, <VARIABILITY>.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la siembra de frejol es un componente esencial de los sistemas de producción, primordialmente en la región Andina, ya que son cultivados en mancomunidad, intercalados, en monocultivo o en combinación con otros cultivos de régimen. La generación de fuentes de empleo, alimento e ingresos económicos se da gracias al aprovechamiento de esta leguminosa, además, permite el consumo interno y externo de la agroindustria artesanal o convencional (Peralta, 2007; citado en Carillo Franco, 2014, p.1).

La disminución de la producción de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) debido a la presencia de insectos, enfermedades y fitopatógenos (hongos y bacterias) ha generado pérdida en la producción, además de daños en la calidad del producto, razón por la cual, se busca adaptar técnicas alternativas que permitan incrementar su producción; reduciendo así, el uso de productos químicos que causan el deterior del suelo y provocan la contaminación del ambiente.

La tecnología nuclear ha permitido el desarrollo de cultivos resistentes a factores dañinos, por tal motivo el uso de las radiaciones ionizantes ha sido ampliamente utilizado para incrementar la variabilidad genética. Los seres vivos poseen características propias, una de ellas es la radiosensibilidad, misma que se ve modificada ampliamente entre organismos, especies y genotipos. Mediante la irradiación de semillas se busca imitar el proceso de mutación espontánea con el fin de, acortar significativamente el tiempo para producir variedades vegetales mejoradas. La presente investigación sobre la inducción a la variabilidad genotípica en semillas se enfoca en la mutabilidad generada por una fuente de radiación ionizante de Uranio-238, como método alternativo para el mejoramiento de las semillas de frejol; la misma que se encuentra dividida en tres capítulos de la siguiente manera:

El capítulo I aborda las cuestiones teóricas que sustentan el planteamiento y desarrollo del tema, se hace una breve mención al origen, propiedades, crecimiento y desarrollo del frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), además se hace un repaso a conceptos básicos, la fuente radiactiva y equipos utilizados.

El capítulo II hace mención al marco metodológico, el cual busca la resolución del problema, dando a conocer los materiales, equipos, el diseño experimental, la experimentación y el procedimiento de esta.

El capítulo III engloba el marco de análisis y la interpretación de resultados, se realiza las técnicas de análisis propuestas y se comprueba la hipótesis. Finalmente se incluye conclusiones y recomendaciones además de anexo, glosario y bibliografía.

ANTECEDENTES

El frejol (*Phaseolus vulgaris L.*) es una leguminosa de grano alimenticia, uno de los grupos más importantes para el consumo humano. Su productividad es amplia, abarcando numerosas áreas, estimando que prácticamente es cultivado en todo el mundo. Se piensa que más del 45% de la producción total mundial procede de Latino América, por lo cual es considerada como el continente de mayor producción y consumo. Según las estadísticas se habla de un crecimiento marginal de la producción de frejol en las últimas décadas, hecho que obedece a causas muy diversas (Voysset, 2000, p.1).

En el Ecuador la historia del mejoramiento genético del frejol se da a partir de la creación y desarrollo del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones (INIAP). Los proyectos desarrollados por PROFIZA y el CIAT en 1991 iniciaron la etapa más distinguida y productiva de la investigación de frejol en Ecuador. Esta etapa particularmente se centró en el mejoramiento genético del frejol. Aparte del INIAP cabe destacar el trabajo en frejol de la Universidad de Loja, particularmente en el área de colección y conservación de los recursos genéticos (Voysset, 2000, p.74).

A comienzos del siglo XX se inició el mejoramiento genético y la producción agrícola a partir de la aplicación de la mutagénesis en distintos cultivos como: el trigo (*Triticum sp.*), el algodón (*Gossypium sp. L.*), el maíz (*Zea mays L.*), la cebada (*Hordeum vulgare L.*), el frejol (*Phaseolus vulgaris L.*), y en plantas ornamentales (Ahloowalia y Maluszynski, 2001; Chopra, 2005; citado en Revista Fitotecnia Mexicana, 2017, p.211).

Los investigadores Pablo Álvarez, Álvaro Yépez, Emilio Basantes, Ángel Murillo y Eduardo Peralta (2011) pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador ESPE, en conjunto con el Instituto Nacional Autónomo de Investigadores Agropecuarios (INIAP) realizaron la investigación denominada “Evaluación fenotípica de dos generaciones de plantas de arveja (*Pisum sativum L.*) provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma para identificar resistencia a *Ascochyta spp.*”, dando como resultados que la dosis más adecuada para que se genere una mutabilidad es de 120Gy; sin embargo debido a que la arveja presenta características poligénicas no fue posible inducir a mutaciones que confieran resistencia a dicho microorganismo (Álvarez; Yépez; Basantes; Murillo; Peralta, 2011).

En el trabajo científico “Comportamiento de “Barna”, cultivar de papa (*Solanum tuberosum L.*) ante diferentes dosis de rayos gamma de fuente Cobalto 60” realizado por los autores M.Cs. Jorge L. Salomón, Dra. María C. González, Dr. Juan Castillo, Dr. Mario Varela (2017), pertenecientes al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Cuyo objetivo es conocer el efecto de los rayos gamma en los aspectos agronómicos y reproductivos para generar la mutabilidad en la papa (*Solanum tuberosum L.*), nos ofrece una guía en sus

conclusiones como, no aplicar dosis superiores a 50Gy en tubérculos-semilla debido al efecto negativo generado en la brotación y crecimiento de la papa (Salomón; González; Castillo; Varela, 2017). Amanda Martirena-Ramírez, Novisel Veitía, Lourdes R. García, Raúl Collado, Damaris Torres, Leonardo Rivero, Miriam Ramírez-López (2015) realizaron la investigación “Respuesta in vitro de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar ‘Ica Pijao’ irradiadas con diferentes dosis de radiación Gamma”, la discusión de resultados nos muestra la respuesta in vitro de las semillas de (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiadas a distintas dosis de radiación gamma. A pesar de que se presentó la formación de callos en los organismos vivientes transferidos de forma artificial de las semillas irradiadas y estos generaron brotes, no fue posible la renovación de plantas a partir del tejido tratado. Al menos en las condiciones establecidas y para esta variedad no fue posible definir la dosis letal media. Por lo cual, son necesarios estudios adicionales de dosis inferiores de radiaciones ionizantes para definir la dosis óptima a emplear en los programas de mejoramiento genético de esta especie (Martirena; Veitía; García; Collado; Torres; Rivero; Ramírez, 2015).

El potencial para evolucionar ante los cambios ambientales y la preservación de las especies está definido a partir de las variaciones genéticas. En consecuencia, la generación de variabilidad es fundamental para el mejoramiento genético (SciELO Analytics, 2019). Es importante mencionar que hasta la fecha de realización de esta investigación no se ha encontrado un trabajo de investigación en el que se haga uso una fuente de origen natural (Uranio-238), razón por la cual se considera importante realizar el presente trabajo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Enunciado del problema

Entre los principales cultivos del Ecuador se encuentra el frejol, que ocupa el noveno lugar en la tasa de producción, con una superficie plantada de 25.253 (ha), una superficie cosechada de 24.0006 (ha) y una producción de 14.743 toneladas. De acuerdo con las cifras presentadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el año 2019, se evidencia pérdidas en las cosechas esto se debe principalmente a las plagas (53%) y enfermedades (80%) (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019, p.1). Estas pérdidas implican daños en la calidad de los productos, perjuicio en la salud del consumidor, y sobre todo disminución en el sector productivo afectando la economía de los agricultores.

Las técnicas agrícolas modernas buscan la disminución de pérdidas y mejoras en la calidad del producto sin tomar en cuenta los daños que los métodos convencionales generan al ambiente. Al inducirse a una variabilidad genética a estas semillas, buscamos mejorar la producción agrícola estableciendo tiempos de exposición adecuados para que la semilla no presente cambios

fenotípicos no deseados, y estas puedan adaptarse o tolerar condiciones desfavorables para su crecimiento.

Formulación (Incógnita)

¿Cuáles son los efectos de la inducción a la variabilidad genotípica en semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) durante su germinación y crecimiento, al ser sometidos a diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de uranio-238?

JUSTIFICACIÓN

El incremento de la población, la falta de recursos, los factores bióticos y abióticos, las malas condiciones ambientales han afectado la productividad agrícola, por lo cual, el beneficio más importante de la exposición a la radiación ionizante en la agricultura es aumentar el rendimiento de las cosechas, permitiendo obtener nuevas variedades de especies vegetales por medio de alteraciones genéticas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) junto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ayudan a crear y adoptar tecnologías de base nuclear que optimicen las prácticas de inducción de mutaciones, con el fin de, aumentar la producción de cultivos y preservar los recursos naturales. Esta investigación presenta una alternativa enfocada en beneficio de la agricultura, buscando el mejoramiento de semillas de frejol (*Phaseolus vulgaris L.*), con el fin de intensificar su producción de forma amigable con el ambiente, sin que esta pierda su calidad, basándose en previos estudios en los cuales la utilización de radiaciones ionizantes ha resultado de utilidad en los trabajos de mejoramiento genético de especies forestales; de igual manera pretende inducir a las semillas a una variabilidad genética para poder analizar los cambios fenotípicos y fisiológicos que estas presentan, con el fin de determinar el efecto que tiene la radiación ionizante sobre el material vegetal utilizado (semillas de frejol).

OBJETIVOS

Objetivo General

Inducir a la variabilidad genotípica en semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), mediante la aplicación de diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Uranio-238.

Objetivos Específicos

- Diseñar el montaje experimental adecuado para la irradiación de las semillas.
- Establecer los diferentes niveles de dosis de radiación ionizante usando tiempos de exposición de 10,15, 30, 45 y 60 minutos a dicha radiación.
- Determinar los cambios fenotípicos presentes en la planta durante su germinación hasta la finalización de la fase vegetativa.
- Recopilar los datos para su análisis estadístico, utilizando pruebas para la comprobación de las hipótesis.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El frejol

1.1.1. Origen

Dentro del grupo de las leguminosas que poseen semillas comestibles, el frejol común corresponde a una de las más importantes. Actualmente se encuentra distribuido en los cinco continentes y es un componente esencial de la dieta, especialmente en Centroamérica y Sudamérica (Ulloa et al., 2011: p.5).

Uno de los cultivos considerados más antiguos es el cultivo de frejol. De acuerdo con hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica esta leguminosa se conocía hace algunos 5000 años antes de Cristo aproximadamente. Fue llevada a Europa poco después del descubrimiento de América y desde ese momento su cultivo ha ido adquiriendo gran importancia, la misma que ha ido creciendo por su capacidad de adaptación, lo que ha hecho que se extienda por los dos hemisferios en la zona tropical, subtropical y templada (Yépez, 2011, p.15).

El gran número de diferentes formas de esta leguminosa se debe al interés del hombre y principalmente a la selección hecha por las culturas precolombinas, en consecuencia, también se genera una gran variedad de nombres comunes dentro de los cuales se destacan: frejol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita caraota y feijao (Ulloa et al., 2011: p.5).

1.1.2. Clasificación Taxonómica

Tabla 1-1: Clasificación Taxonómica de frejol (*Phaseolus Vulgaris* L.), en el año 2014

Clasificación Taxonómica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Phaseolinae
Género	Phaseolus
Especie	Vulgaris
Nombre científico	Phaseolus vulgaris L.

Fuente: CARILLO, 2014.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2020.

1.1.3. Descripción morfológica

La planta de frejol contiene alrededor de un 22% de proteínas, se considera una especie que no soporta heladas es decir es termófila, es herbácea sin embargo se cultiva esencialmente para obtener la semilla (Cabrera y Reyes, 2008: p.6).

1.1.3.1. Raíz

El sistema radicular en sus primeras etapas de desarrollo se encuentra estructurado por la radícula del embrión, misma que posteriormente se transforma en la raíz principal o primaria. Tiempo después se desarrollan las raíces secundarias, las cuales se forman en la parte superior o cuello de la raíz principal. Las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes se desarrollan sobre las raíces secundarias; en la parte superior y media del sistema radicular se encuentra distribuidos los nódulos que presentan las raíces laterales. Estos nódulos presentan un aspecto poliédrico, con un diámetro aproximado de 2 a 5 milímetros y son colonizados por las bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico, que satisface los requerimientos nutricionales de la planta (Cabrera y Reyes, 2008: p.6).

1.1.3.2. Tallo

Se lo identifica como el eje central de la planta, se encuentra compuesto por una sucesión de nudos y entrenudos, es herbáceo, con sectores levemente angulares o cilíndricos; puede ser rígido o semirrígido, postrado o semipostrado, según la rutina de crecimiento (Cabrera y Reyes, 2008: p.6).

1.1.3.3. Hojas

Surgen sobre el tallo, las hojas se encuentran alternadas, en la base se presenta un par de hojillas llamadas estípulas, son estriadas, pecioladas, compuestas por tres folíolos ovalados o rómbicos, con el ápice agudo (Carillo, 2014, p.6).

1.1.3.4. Flor

El cáliz es un tubo en forma de campana que hacia el ápice se encuentra dividido en cinco lóbulos, dos lóbulos se encuentran parcialmente unidos; la corola está formada por cinco pétalos desiguales, posee un color rosa- púrpura casi blanca, el pétalo más externo se llama estandarte y es el más ancho y vistoso, posteriormente se ubica un par de pétalos laterales semejantes entre sí, llamados alas y por último los dos más internos también semejantes entre sí y generalmente asociados, estos forman la quilla; misma que presenta el ápice largo y torcido en forma de espiral, mismo que envuelve a los estambres y el ovario; los estambres son diez, los filamentos de nueve de ellos se encuentran unidos y uno está libre. El ovario es angosto, con un estilo largo y delgado, con pelos hacia el ápice, terminando en un estigma pequeño (Carillo, 2014, p.6).

1.1.3.5. Fruto

Se describe al fruto como una vaina con dos valvas, las cuales surgen del ovario comprimido. Las futuras semillas son los óvulos, los cuales se encuentran alternadas en la sutura placentar, por ende, las semillas también se encuentran alternadas. Las vainas generalmente no presentan pelos o poseen pelos muy pequeños; a veces la epidermis es pilosa. El color depende de la variedad, existe diferencias entre las vainas maduras y las vainas completamente secas (Sevilla y Holle, 2004; citado en Carillo, 2014, p.7).

1.1.4. Etapas de desarrollo en la planta de frejol

El ciclo bilógico de las plantas de frejol se divide en dos fases continuas denominadas: fase vegetativa y fase reproductiva (ver figura 1-1), las mismas que se encuentran subdivididas en diez

etapas, mismas que forman la escala de desarrollo del cultivo del frejol (Arias, 2007; citado en Tandayamo, 2016, p.4).

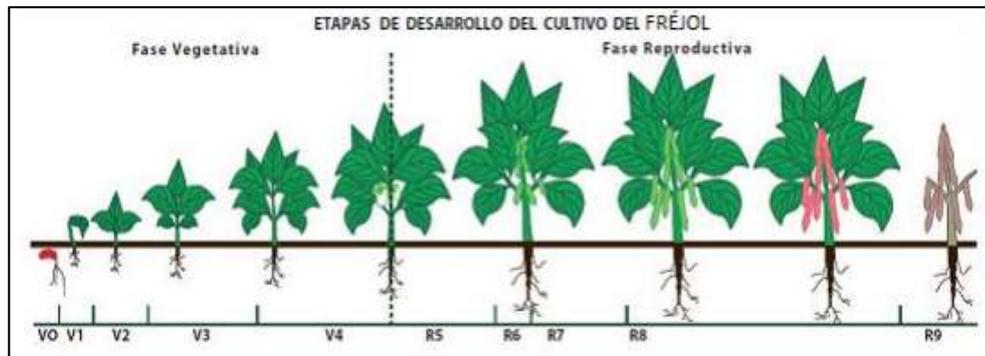


Figura 1-1. Etapas de desarrollo de la planta de frejol

Realizado por: Arias, 2007.

Para iniciar la fase vegetativa se requiere que las semillas de frejol dispongan de condiciones favorables para su germinación. Esta fase llega a su culminación cuando surgen los primeros botones florales, en esta fase se establece la mayor parte de la estructura vegetal, la misma que es fundamental para iniciar su reproducción (Fernández et al., 1986: p.3).

La aparición de los primero racimos o botones florales inicia la fase reproductiva, misma que finaliza cuando el grano alcanza la madurez necesaria para la cosecha; esta fase posee etapas intermedias (Tipos II, III y IV) en las cuales continua un crecimiento de estructuras vegetales con menor intensidad, a pesar de ser una etapa netamente reproductiva (Fernández et al., 1986: p.3).

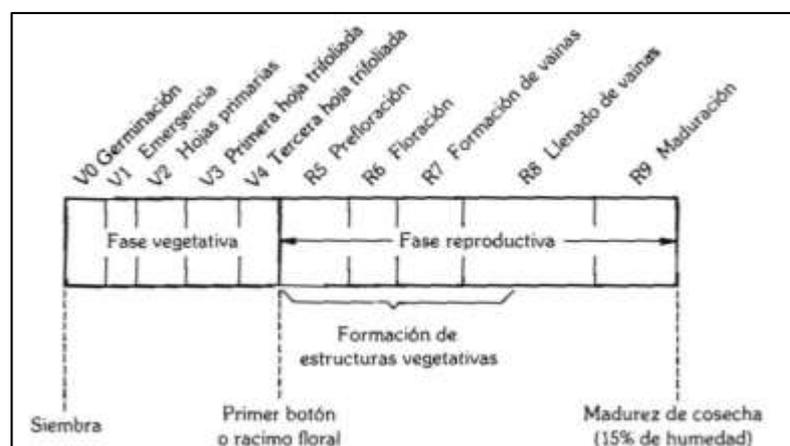


Figura 2-1. Escala de desarrollo de una planta de frejol

Realizado por: Centro Internacional Tropical, 1986.

1.1.4.1. Etapas de la fase vegetativa

La fase vegetativa está constituida por cinco etapas que incluyen cambios claves en el desarrollo de la planta, estos son: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada (Schoonhoven y Pastor, 1987; citado en Carillo, 2014, p.7).

Tabla 2-1: Etapas de la Fase Vegetativa, en el año 1987

FASE VEGETATIVA	
Etapa	Concepto
V0→Germinación	Humedecimiento de las semillas, absorción de agua; surgimiento de la radícula y su cambio a raíz primaria.
V1→Emergencia	Empieza con los cotiledones apareciendo al nivel del suelo y se observa que el epicótilo ha empezado a formarse, posteriormente aparecen y empiezan a desplegarse las hojas primarias.
V2→Hojas primarias	Se observa cuando las hojas primarias se encuentran totalmente abiertas.
V3→Primera hoja trifoliada	Se identifica cuando la primera hoja trifoliada se encuentra completamente abierta y se manifiesta la segunda hoja trifoliada.
V4→Tercera hoja trifoliada	Se presenta la tercera hoja trifoliada totalmente abierta, además las yemas de los nudos inferiores producen ramas.

Fuente: CARILLO, 2014.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.1.4.2. Etapas de la fase reproductiva

Tabla 3-1: Etapas de la Fase Reproductiva, en el año 1987

FASE REPRODUCTIVA	
Etapa	Concepto
R5→Prefloración	Se inicia con la aparición del primer botón floral, mismos que se forman en el último nudo del tallo o de la rama.
R6→Floración	Se observa el comienzo de la abertura de la primera flor.
R7→Formación de las vainas	Se origina la primera vaina, misma que mide aproximadamente 2,50cm de longitud.
R8→Llenado de las vainas	Inician a llenarse las primeras vainas es decir se origina el crecimiento de las semillas. Al final de esta etapa, las semillas pierden el color verde y comienzan a observarse las características de la variedad. Inicia la caída prematura de las hojas (defoliación).
R9→Madurez Fisiológica	Se observa la decoloración de las vainas y se comienzan a secar. Las semillas adquieren el color característico de la variedad.

Fuente: CARILLO, 2014.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.1.5. Propiedades alimentarias del frejol

Ulloa A., Ulloa P., Ramírez J. y Ulloa B. (2011, p.6) mencionan que las propiedades nutritivas que posee el frejol se encuentran íntimamente relacionadas con su alto contenido proteico y en una menor cantidad a su contribución de vitaminas, minerales y carbohidratos. El contenido proteico de frejol puede variar entre el 14 y el 33% dependiendo de su tipo, siendo rico en aminoácidos como la fenilamina más tirosina (5.3 a 8.2g/100g de proteína) y lisina (6.4 a 7.6g/100g de proteína), pero con la escasez en los aminoácidos azufrados de cisteína y metionina (Ulloa, Ulloa, Ramírez y Ulloa, 2011: p.6).

Finalmente establecen que el frejol es una buena fuente de fibra cuyo interés varía entre 14 a 19g/100g del alimento crudo. La fibra del frejol está compuesta químicamente por las pectinas, pentosas, hemicelulosa, celulosa y lignina. Además, se considera que este alimento es una fuente importante de hierro, calcio, magnesio, fósforo, zinc y de las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico (Ulloa, Ulloa, Ramírez y Ulloa, 2011: p.6).

1.1.6. Variedad INIAP 480 Rocha

Se originó a partir de una cruce realizada por el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, en la estación experimental “Santa Catalina” del INIAP. Proviene del emparejamiento del INIAP-420 Canario del Chota x (Cocacho x San Antonio) S26 p1. Fue legislado como línea Arbustiva, Canario, Ecuador (ACE 5). Lleva su nombre en homenaje al Ing. Fabián Portilla Rocha (fundador del INIAP) y fue liberado públicamente en el año 2009 por el aniversario número cincuenta de la creación del INIAP (INIAP et al., 2009: p.3).

Tabla 4-1: Características Morfológicas de la variedad INIAP 480 Rocha, en el año 2009

Características Morfológicas	
Habito de crecimiento	Determinado (I)
Altura de la planta	30 a 35 cm
Color de la Flor	Rosada
Largo de la vaina	9 a 12cm
Color del grano tierno	Blanco
Color del grano seco	Amarillo (canario)
Forma del grano	Redondeado ovoide
Tamaño del grano	Grande
Días de floración	45 a 47
Días de la madurez fisiológica	85 a 95
Días de la cosecha en seco	95 a 105
Nº de vainas/ planta (promedio)	10 a 27
Nº de grano/vaina (promedio)	3 a 5
Peso de 100g secos	52g (promedio)
Peso hectolitrito	81 kg/hl

Fuente: PERALTA, MURILLO, MAZÓN, PINZÓN, 2009.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.2. Mutagénesis utilizando radiación ionizante

Entre los agentes físicos capaces de producir mutabilidad se encuentran diferentes tipos de radiaciones ionizantes como son: las partículas alfa, los rayos gamma, los protones, los rayos X y los neutrones, los mismos que presentan diferente poder de penetración e ionización. La radiación ionizante es considerada como la energía transportada por varios tipos de partículas y rayos emitido por el material radioactivo, elementos combustibles en reactores nucleares y aparatos de rayos X. La radiación ionizante incorpora partículas alfa, partículas beta, rayos X y rayos gamma. Las partículas alfa y beta son pequeños fragmentos de átomos que se mueven rápidamente. La radiación electromagnética está conformada por los rayos X y los rayos gamma. Estas partículas y rayos poseen una cantidad de energía capaz de desplazar electrones de moléculas con las que interactúan como es el caso del agua, proteínas y ácidos nucleicos. Este desarrollo se conoce con el nombre de ionización. La radiación ionizante requiere del uso de instrumentos especiales para su detección ya que no se puede sentir (ATSDR, 1999, pp. 2-3).

Las radiaciones ionizantes se encuentran divididas en directamente ionizantes e indirectamente ionizantes. Este primer grupo está constituido por partículas cargadas como: partículas α , electrones, protones; y son consideradas radiaciones directamente ionizantes ya que la propia partícula genera la ionización del medio. El segundo grupo está formado por la radiación constituida por partículas neutras (neutrones) y por la radiación electromagnética (fotones), este

grupo también provoca la ionización en el medio con el que interactúa, pero esta ionización en su mayoría no es directa, sino indirecta, por intermedio de otras partículas cargadas. Por tal motivo, se consideran como radiaciones indirectamente ionizantes (CSN, 2012, p.17).

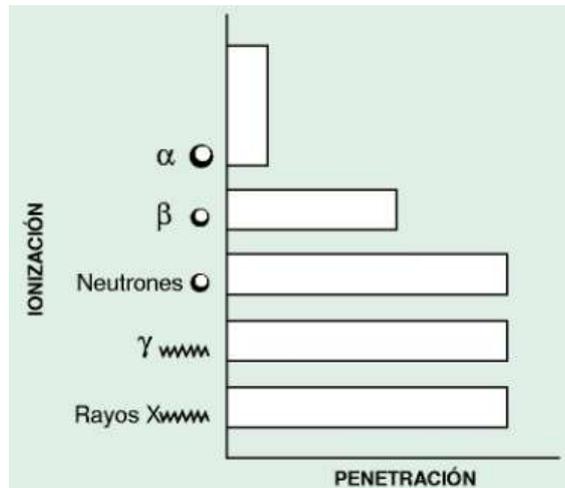


Figura 3-1. Radiación Ionizante

Realizado por: Pascual, A.; Gadea, E. 2001.

1.2.1. Magnitudes y unidades básicas

Las magnitudes dosimétricas son muy útiles para el desarrollo de esta investigación, para lo cual se describe brevemente las magnitudes utilizadas:

Tabla 5-1: Magnitudes y unidades básicas, en el año 2016

Magnitud	Unidades S. I	Proceso Físico Medido
Dosis Absorbida	Gray (Gy)	Concentración de energía depositada en un medio por unidad de masa.
Dosis Equivalente	Sievert (Sv)	Efecto biológico.
Dosis Efectiva	Sievert (Sv)	Riesgos.
Actividad	Becquerel (Bq)	Desintegración nuclear.

Fuente: INSTITUTO ESTATAL NORUEGO DE RADIOHIGIENE, 1984.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.2.1.1. Dosis Absorbida

Se define como la cantidad de energía distribuida por unidad de masa, se encuentra representada por la letra *D*. En el Sistema Internacional, su unidad es el Gy, que es igual a J/kg. Un Gy equivale a 100 rads de las antiguas unidades (Attix, 2004, p.26).

$$D = \frac{\text{Energía depositada}}{\text{Unidad de masa}} = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (1)$$

Donde ΔE es la cantidad de energía distribuida y Δm representa la unidad de masa.

1.2.1.2. Dosis Equivalente

Se determina como la sumatoria de la dosis absorbida (D) por el factor de ponderación de la radiación, está representada por la letra H . En el Sistema Internacional (SI), su unidad es el Sv, que es igual a J/kg. Un Sv equivale a 100 rem de las antiguas unidades (Attix, 2004, p.34).

$$H = DQN \quad (2)$$

Donde D es la dosis absorbida, Q es el factor de calidad y N es el producto de todos los demás factores modificadores (Asignados actualmente el factor de 1).

Actualmente la ecuación de la Dosis Equivalente se representa como:

$$H = \sum D \cdot W_r \quad (3)$$

Donde W_r es igual al factor de ponderación.

Tabla 6-1: Factores de ponderación de radiación recomendados, en el año 2004

Tipo de radiación	Factores de ponderación de la radiación (W_r)
Electrones y muones	1
Fotones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa, iones pesados, fragmentos de fisión	20

Fuente: ATTIX, 2004.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.2.1.3. Dosis Efectiva

Se define como la sumatoria de las dosis equivalentes (H) por el factor de ponderación de los tejidos, se encuentra representada por la letra E . En el Sistema Internacional (SI), su unidad es el Sv, que es igual a J/kg. Un Sv equivale a 100 rems de las antiguas unidades. Nos indica la dosis recibida por un determinado órgano con respecto al tipo de radiación que incide sobre el mismo (Attix, 2004, p.34).

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (4)$$

1.2.1.4. Intensidad de la Radiación

Los fotones forman la radiación electromagnética, los cuales poseen la energía suficiente para ionizar la materia, según su origen se catalogan en rayos gamma y rayos X. Si dibujamos un cuadrado de área unitaria en ángulo recto con la trayectoria de un haz uniforme de radiación electromagnética, entonces el total por segundo de energía de todos los fotones que pasan a través del cuadrado se define como la intensidad del haz, de modo que: La intensidad de un haz de radiación electromagnética en un punto es la energía total por segundo que pasa por ese punto cuando se normaliza a una unidad de área (Attix, 2004).

Ley del inverso al cuadrado:

La intensidad de la radiación emitida por una fuente isótropa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente, siempre que haya una absorción o dispersión insignificante de la radiación por el medio a través del cual pasa (LBCC, 2016).

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (5)$$

1.2.2. Mecanismos de acción de los agentes mutágenos físicos

Como lo afirmó Willy Navarro Álvarez (1978, p.18), los fenómenos físicos responsables de los fenómenos biológicos causados por irradiaciones son la excitación y la ionización de átomos; en la excitación algún electrón de cierto átomo pasa a un nivel de energía superior. En la ionización, el átomo pierde un electrón de una órbita. El átomo puede recibir energía directamente de la radiación incidente, o indirectamente por transferencia a partir de otro átomo. En soluciones acuosas lo más importante es el efecto indirecto de transferencia de energía, a partir de la creación de radicales libres en el agua. Los radicales libres pueden además reaccionar con oxígeno, multiplicando el efecto de la irradiación. Se pueden formar a partir de prácticamente cualquier componente celular susceptible de ionizarse (Álvarez, 1978, p.18).

1.3. Radiación en la agricultura

El dramático aumento de la población ha provocado que los sistemas agrícolas soporten el constante incremento de la demanda de alimentos, este hecho se ve reflejado en las necesidades del mercado; además, el rendimiento de los cultivos se ve afectado por una serie de factores ambientales como la sequía, que juntamente con la salinidad de los suelos se convierten en un grave problema para la sostenibilidad de la agricultura. Unos 10 millones de hectáreas son abandonadas y alrededor del 10% de la superficie del planeta se ve afectada por estos problemas (De la Cruz, 2010 a; González et al., 2005; citado en Guadarrama, 2014, p.16).

La implantación de cultivos y especies más tolerantes es una solución parcial a este problema; tomando en consideración el desarrollo de diferentes características que la naturaleza provee a todas las especies a partir de los procesos de selección natural y mutación espontánea. Los programas convencionales de mejoramiento (selección e hibridación) han sido empleados en la búsqueda de rasgos destacados como resistencia a plagas, enfermedades, sequia, salinidad, entre otros, mismo que han sido abundantemente utilizados y han presentado resultados satisfactorios que pueden tardar de siete a diez años según la especie a manejar (Espíndola et al., 2011; Ortiz et al., 2008 y Valdez et al., 2004; citado en Guadarrama, 2014, p.16).

Los daños o alteraciones en la secuencia usual del ácido desoxirribonucleico (ADN) en un organismo se conoce como mutación, misma que resulta de la acción de agentes químicos, físicos, o naturales como un fallo en la reproducción del ADN (De la Cruz, 2011; Doná et al., 2013; citado en Guadarrama, 2014, p.16).

De acuerdo con lo anterior, antes de manifestarse como mutaciones las variaciones inducidas por la interacción de la radiación ionizante u otro mutágeno con el ADN, pueden ser reparadas. Los portadores del mensaje que se transcribe y se traduce son los genes, mismos que constituyen secuencias de polinucleótidos (Desoxiribonucleótidos) para producir proteínas estructurales y/o funcionales (enzimas), que en última instancia controlan la expresión del carácter (Hernández y Sosa, 1988 citado en Guadarrama, 2014, p.17). Una o más mutaciones espontaneas pueden transmitirse de cada planta a la próxima generación (Novak y Brunner, 1992; citado en Guadarrama, 2014, p.17).

Se considera una técnica segura, probada y económicamente eficaz a la inducción de mutaciones, misma que se viene utilizando desde 1920, generando el incremento en los últimos años de la tendencia de aplicar radiación; por lo que las radiaciones ionizantes han sido de los tratamientos más utilizados para la inducción de mutaciones por su simplicidad para la creación de variabilidad genética, contribuyendo al desarrollo de una agricultura sustentable; transformando a la mutagénesis radio inducida en una opción en el fitomejoramiento (Sandoval y Solórzano, 1996; Suarez, 2006 citado en Guadarrama, 2014, p.17).

1.3.1. Variabilidad Inducida en frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*)

Los trabajos realizados con esta leguminosa han sido enfocados básicamente a la forma en que los agentes mutagénicos afectan el desarrollo de la planta, posibilidades de uso de las mutaciones clorofílicas para estimar mutabilidad, frecuencia de mutaciones inducidas por diferentes agentes mutagénicos, respuestas biológicas y la inducción mutante del color de las semillas (Álvarez, 1978, p.32).

1.4. Uranio

El Uranio es un elemento radiactivo que se presenta en el agua, aire, rocas y tierra. Su concentración promedio en la corteza terrestre es de cuatro partes por millón. Es un material muy reactivo. Razón por la cual, en la naturaleza se encuentra asociado a otros elementos formando compuestos, es decir, no se presenta en su forma elemental. Normalmente aparece formando óxidos y sales de muy diferente composición y color ya que presenta una gran avidez por el oxígeno. Su toxicidad está dada a partir de su movilidad en el medio ambiente, misma que se determina a través de la solubilidad de un compuesto de uranio. El uranio que aparece en el agua procede en su mayor parte de la precipitación de rocas y suelos que lo contienen (Villanueva, 2009, p.3).

El uranio natural está conformado por una mezcla de tres isótopos llamados U-238, U-235 y U-234. De cada gramo natural de uranio, el 99,28% de su masa es U-238, el 0,71% U-235 y el resto pertenece al U-234; excepto en ciertas excepciones, donde la relación U-238/U-235 permanece constante en la corteza terrestre. Poseen propiedades radioactivas diferentes pero los tres son el mismo producto químico (Villanueva, 2009, p.3).

Tabla 7-1: Propiedades de los isótopos del Uranio, en el año 2001

Isótopo	Vida media (años)	Modo de Decaimiento	Energía de Radiación (MeV)		
			Alfa (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
U-234	240,000	α	4,8	0,013	0,0017
U-235	700 millones	α	4,4	0,049	0,16
U-238	4.5 billones	α	4,2	0,010	0,0014

Fuente: ANL, 2001.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

1.4.1. Decaimiento del uranio-238

La desintegración del U-238 es muy complejo. La principal cadena de decaimiento del U-238 al nucleído estable plomo-206 (^{206}Pb) es (Adams, 1995, p.15):

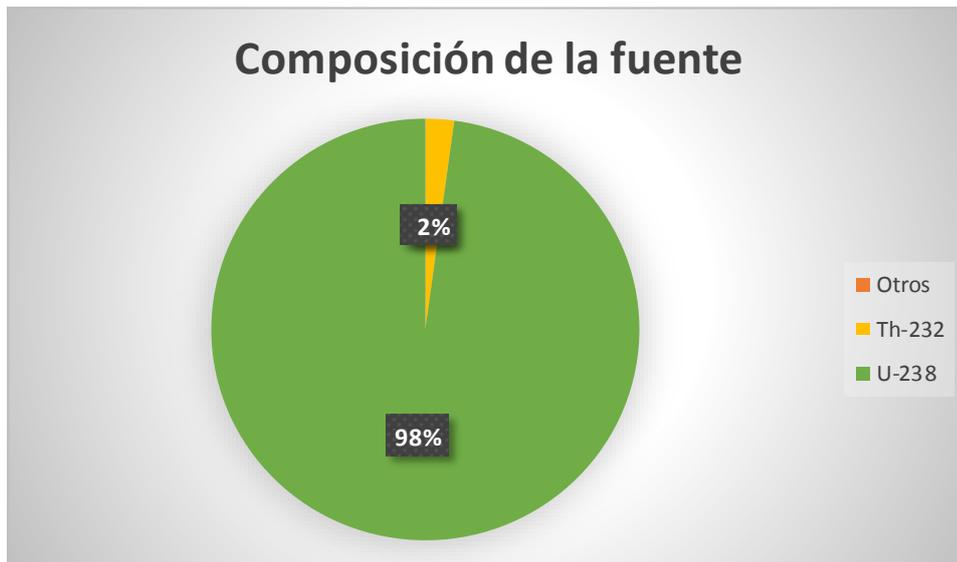


Gráfico 1-1. Composición de la fuente de origen natural (roca)

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

Como se evidencia en el gráfico 1-1 la fuente natural (roca) se encuentra constituida en un 97,83% por uranio-238, un 2,16% por torio y 0,01% por otros isótopos; razón por la cual se la considera una fuente de uranio-238.

1.5. Electretes

Se define al electrete como una pieza de material dieléctrico que exhibe una carga eléctrica casi permanente, se lo considera como un análogo eléctrico de un imán. Está formado por un material dieléctrico con alta resistividad interna. Los materiales fluoro carbonados son los más prácticos y los que más se utiliza para fabricar electretes, debido a su alta resistividad superficial y volumétrica. Su sistema consiste en un disco de teflón que ha sido cargado eléctricamente y procesado por procedimientos especiales para que la carga del electrete permanezca estable. El voltaje del electrete disminuye en proporción a la concentración del radón y el tiempo de exposición (E-PERM, 1998, p.7).

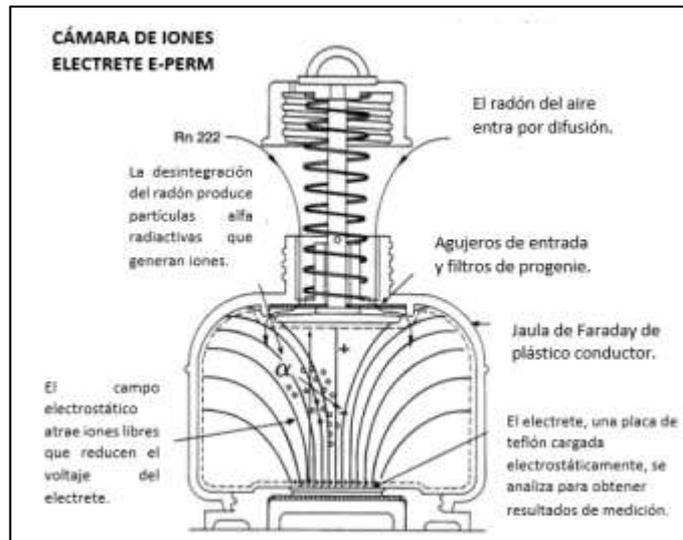


Figura 4-1. Funcionamiento básico de la cámara de iones electrete para medir radón en aire

Realizado por: Kotrappa, P. 2021.

1.6. Detectores gaseosos de ionización

Los detectores de ionización están principalmente estructurados por un espacio lleno de un gas a presión, en el cual se encuentran colocados dos electrodos separados a una cierta distancia, a los cuales se les aplica una tensión de polarización. En condiciones normales el gas no es un conductor, es decir no circula corriente eléctrica entre ambos electrodos. Pero si el gas es alcanzado por una partícula ionizante se genera, por ionización, pares ion-electrón. En el campo eléctrico existente se producirá el movimiento de las cargas liberadas, mismo que se moverán hacia el electrodo de signo contrario: los iones hacia el cátodo (polo negativo) y los electrones hacia el ánodo (polo positivo). La electrónica del detector se encarga de tratar la acumulación de estas cargas, midiendo así la corriente media que se está generando en el detector, formando así un pulso con cada uno de los golpes de las cargas que recogen los electrodos denominados como: cámara que opera en modo impulso o bien la interacción de varias partículas lo que se conoce como: cámaras que operan en modo corriente. Los detectores de ionización gaseosa son denominados de acuerdo con la región en la que operan (Alcaraz, p.3):

- a) Contadores proporcionales
- b) Contadores Geiger-Müller
- c) Cámaras de ionización

1.6.1. Contador Geiger-Müller

Forma parte del grupo de los detectores de ionización gaseosa. El material activo en el interior del detector es un gas, típicamente una mezcla de un gas noble como He, Ar o Ne con un 5-10% de gas de “quenching” (fluorescencia), a baja presión (~0.1 atm) con el fin de reducir el voltaje necesario para su operación. De manera general, un detector de ionización gaseosa está constituido por un hilo central (ánodo) mismo que se encuentra dentro de un cilindro metálico (cátodo) entre los cuales se aplica una diferencia de potencial. En el interior del detector las moléculas o átomos del gas son ionizados por la radiación que incide provocando pares ion-electrón que son acelerados hacia el ánodo y el cátodo, respectivamente. Los electrones alcanzan suficiente energía cinética en las proximidades del ánodo (región de avalanchas) como para ionizar nuevas moléculas de gas, solo si el campo eléctrico es lo suficientemente alto, desencadenando así una avalancha Townsend (Universidad de Sevilla, 2016, p.1).

1.6.1.1. The Ranger EXP

Es un detector de radiación, basado en un contador Geiger-Müller, mismo que posee una geometría plana montada en una sonda exterior, fundamentalmente adecuada para poder medir la contaminación radioactiva de las superficies. El equipo se puede conectar a un PC, posee un software para observar los datos en un tiempo real, guardar y analizar los mismos. Integra una alarma vibrante y sonora (Radiansa, 2021, p.1).

Se actualiza cada tres segundos, esto ocurre cuando los niveles de radiación de fondo son normales, mostrando así el promedio de los niveles de radiación en los últimos treinta segundos, este periodo disminuye si los niveles de radiación aumentan (Radiansa, 2021, p.1).



Figura 5-1. The Ranger EXP

Realizado por: Radiansa, 2021.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se encuentra definido el tipo y el diseño de investigación, así como la metodología para el diseño del montaje experimental adecuado para la irradiación de las semillas. Finalmente se describe el proceso de germinación, desarrollo y crecimiento de las semillas irradiadas hasta la finalización de su etapa vegetativa.

2.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo tiene como objetivo inducir a la variabilidad genotípica a semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), mediante la aplicación de diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Uranio-238. Se considera que posee un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), ya que se busca establecer diferentes niveles de dosis en donde las semillas presentan cambios fenotípicos, durante su germinación y hasta la finalización de la fase vegetativa; es de carácter aplicado, porque se emplea los conocimientos obtenidos en física de radiaciones en la interacción radiación materia.

De igual manera esta investigación es exploratoria-descriptiva, exploratoria porque se pretende obtener los datos a partir de diferentes pruebas de campo y descriptiva porque se busca determinar los efectos generados por la radiación ionizante sobre las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) durante su germinación y crecimiento (finalización de la fase vegetativa).

Finalmente es hipotética-deductivo ya que se establece una hipótesis la misma que se pretende comprobar o refutar a partir de la experimentación y la estadística inferencial.

2.2. Diseño de Investigación

El presente trabajo de investigación curricular es de carácter experimental, debido a que se pretende determinar si el tiempo influye en la dosis de radiación ionizante, y si la dosis absorbida por el frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) genera cambios fenotípicos. Se encuentra en función de dos análisis, en los cuales se presentan distintas variables: dosis, tiempo, cambios fenotípicos.

2.2.1. Identificación de variables

Análisis 1

Variables Dependientes: Dosis.

Variables Independientes: Tiempo.

Análisis 2

Variables Dependientes: Variables fenotípicas.

Variables Independientes: Dosis.

2.2.2. Planteamiento de la hipótesis

¿La variabilidad genotípica en las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), dependerá de la exposición a diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Uranio-238?

2.2.3. Matriz de consistencia

Tabla 1-2: Matriz de consistencia, en el año 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>Problema general: ¿Cuáles son los efectos de la inducción a la variabilidad genotípica en semillas de frejol (<i>Phaseolus Vulgaris L.</i>) durante su germinación y crecimiento, sometidos a diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de uranio-238?</p>	<p>Objetivo general: Inducir a la variabilidad genotípica en semillas de frejol (<i>Phaseolus Vulgaris L.</i>), mediante la aplicación de diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Urnio-238.</p>	<p>Hipótesis general: ¿La variabilidad genotípica en las semillas de frejol (<i>Phaseolus Vulgaris L.</i>), dependerá de la exposición a diferentes dosis de radiación ionizante de una fuente de Uranio-238?</p>	<p>Variable independiente para el análisis 1: Tiempo.</p>
			<p>Variable independiente para el análisis 2: Dosis.</p>
			<p>Indicadores: análisis 1: Minutos (min) análisis 2: Gray (Gy)</p>
<p>Problemas específicos:</p>	<p>Objetivos específicos:</p>	<p>Hipótesis específicas: -La dosis de radiación ionizante necesaria para</p>	<p>Variable dependiente para el análisis 1: Dosis</p>

<p>- ¿El montaje diseñado es el correcto para la irradiación de las semillas?</p> <p>- ¿Las dosis y tiempos establecidas son los correctas para que se presenten cambios fenotípicos en las semillas durante su germinación y crecimiento hasta la finalización de la etapa vegetativa?</p> <p>- ¿A qué dosis se presenta un mayor número de cambios favorables para la planta?</p>	<p>-Diseñar el montaje experimental adecuado para la irradiación de las semillas.</p> <p>- Establecer los diferentes niveles de dosis de radiación ionizante usando tiempos de exposición de 10, 15, 30,45 y 60 minutos a dicha radiación.</p> <p>- Determinar los cambios fenotípicos presentes en la planta durante su germinación hasta la finalización de la fase vegetativa.</p> <p>- Recopilar los datos para su análisis estadístico, utilizando pruebas para la comprobación de las hipótesis.</p>	<p>que se presenten cambios fenotípicos durante la germinación y crecimiento de frejol hasta la finalización de la fase vegetativa puede depender del tiempo.</p> <p>-Los cambios fenotípicos (longitud de la raíz, longitud del tallo, tamaño de las hojas), pueden depender de la dosis.</p>	<p>Variable dependiente para el análisis 2: Variables fenotípicas.</p> <hr/> <p>Indicadores: análisis 1: Gray (Gy) análisis 2: Longitud de la raíz milímetros (cm) Longitud del tallo (cm) Tamaño de las hojas (cm)</p>
---	--	--	---

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

2.2.4. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de variables, en el año 2021

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
Variable independiente para el análisis 1: Tiempo	Tiempo: Es una magnitud física que permite ordenar la duración o la separación de los acontecimientos, el segundo es su unidad de acuerdo con el SI (Española, 2020).	Minutos (min)	Cronómetro
Variable independiente para el análisis 2: Dosis Absorbida	Dosis Absorbida (D): Magnitud que se encarga de medir la porción de radiación ionizante depositada en una unidad de masa (Diccionario Enciclopédico, 2009).	Mili-Gray (mGy)	Electrete Rad Elec Inc.

Variable independiente para el análisis 1: Dosis Absorbida	Dosis Absorbida (D): Magnitud que se encarga de medir la porción de radiación ionizante depositada en una unidad de masa (Diccionario Enciclopédico, 2009).	Mili-Gray (mGy)	Electrete Rad Elec Inc.
Variable dependiente para el análisis 2: Variables fenotípicas	Variables fenotípicas: Son aquellas singularidades observables en los organismos, en otras palabras, es la suma de todas las particularidades visibles de un organismo; los mismos que son el resultado de la interacción generada entre el medio y el genotipo (Gervi, 2009, p.2).	Longitud de la raíz milímetros (mm) Longitud del tallo (cm) Tamaño de las hojas(cm)	Flexómetro

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

2.2.5. Localización del estudio

Esta investigación se llevó a cabo inicialmente en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, donde las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) fueron expuestas a radiación ionizante en los tiempos de exposición previamente establecidos; para posteriormente germinarlas y sembrarlas en la ciudad de San Luis de Otavalo ubicada a 0°grados, 14 minutos, 0 segundos Norte y 78°, 16 minutos y 0 segundos Oeste (0°14'0"N, 78°16'0"W) en la provincia de Imbabura, Ecuador; por la disposición del terreno y lograr así un mejor seguimiento del proceso, a fin de determinar los efectos y cambios fenotípicos presentes en la germinación y crecimiento de las semillas hasta la finalización de su fase vegetativa.

2.2.6. Población de estudio

El presente trabajo de investigación tiene como población de estudio las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) de la variedad denominada INIAP 480 Rocha.

2.2.7. Tamaño de la muestra

En este trabajo de investigación se procura tomar como tamaño de muestra 108 semillas, de las cuales 90 serán irradiadas (en grupos de 18 a diferentes dosis) y las 18 semillas restantes serán usadas como muestras de control. Se realizó tres repeticiones en diferentes tasas de dosis.

2.2.8. Método de muestreo

Para el correcto seguimiento y análisis de los datos se aplicó el muestreo por conveniencia, el cual es una técnica no probabilística que pretende seleccionar muestras de acuerdo con las facilidades de obtención en los diferentes puntos.

2.3. Características de Equipos y Materiales

2.3.1. Diseño del montaje

El montaje en el cual se colocaron las semillas se diseñó con ayuda del programa FreeCAD 0.18, el cual permite un modelado en 3D, a partir de un diseño en 2D. Es un software libre (gratis) de fácil acceso y manipulación, programado en los lenguajes C++ y Python; también puede ser usado como un simulador debido a que permite una gama amplia de formatos de archivos como: STL, IGES, STEP, entre otros; además es compatible con Mac, Linux y Windows.

El diseño consiste en una caja circular como se observa en la Figura 1-2, la cual consta de ocho divisiones de 4,5mm (medida a escala) de longitud (ver figura 2-2) (lugar para colocar la fuente de Uranio-238), además posee en el centro un compartimiento circular de un radio de 5mm (medida a escala) (lugar para colocar el electrete y las semillas de frejol) (ver figura 3-2).

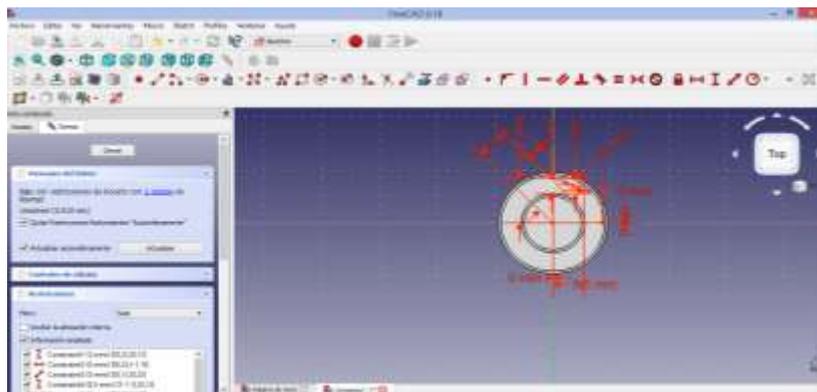


Figura 1-2. Diseño inicial usando FreeCAD 0.18

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

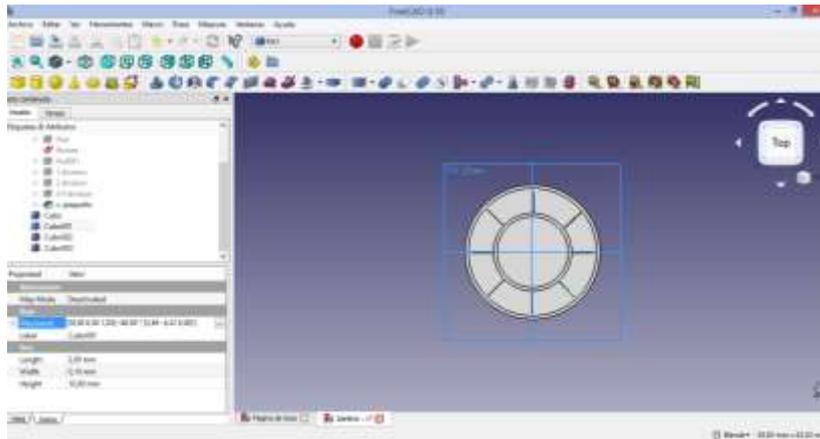


Figura 2-2. Diseño utilizando FreeCAD 0.18

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

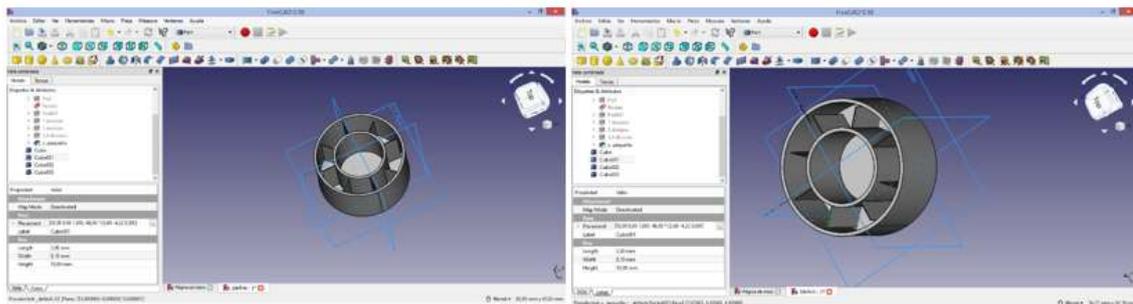


Figura 3-2. Diseño final usando FreeCAD 0.18

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

Se eligió este diseño de la figura 3-2, debido a que se intentó obtener que la radiación emitida por la fuente de Uranio-238 (roca) sea uniforme, se atenuó la radiación alfa y beta, de manera que pase la radiación gamma de forma directa a las semillas; cabe mencionar que dicho montaje está elaborado en Zinc y forrado con aluminio por cuestiones de seguridad ya que la radiación alfa es una radiación corpuscular, directamente ionizante con una transferencia lineal de energía (LET) alta, por lo tanto genera un mayor daño biológico; razón por la cual es importante atenuarla.

2.3.2. Fuente de Uranio-238

La fuente utilizada consiste en una roca fraccionada de origen natural (ver figura 4-2) compuesto por una serie de radionucleidos en su mayoría Uranio-238. Los mismos que se detallan en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2: Radionúclidos presentes en la fuente, en el año 2019

CÓDIGO DE LABORATORIO	ARAD-2019-532.01	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	<i>IDENTIFICACIÓN</i>	Muestra 1
	<i>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</i>	Roca
ACTIVIDAD DE LA MUESTRA (Bq/g)	Bi-214	10400 ± 0.06
	Pb-214	9700 ± 0.08
	Ra-226	15000 ± 0.03
	Rn-222	7500 ± 0.05
	Ac-228	260 ± 0.02
	Pb-212	560 ± 0.05
	Th-232	13000 ± 0.02
	U-235	670 ± 0.01
	U-238	1800000 ± 0.03
	Pb-210	5700 ± 0.01

Fuente: CHILUIZA, 2019.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.



Figura 4-2. Fuente de Uranio-238

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.3.3. Rad Elec Inc

Los lectores SPER (Surface potential electret reader / Lector del electrete de potencial de superficie), son utilizados para medir el voltaje de un electrete. Como se observa en la figura 5-2, el disco del electrete se coloca en el soporte que posee el lector generando un campo electrostático dentro de la cámara capaz de atraer iones del signo opuesto generado por la desintegración del radón y sus productos secundarios dentro de la cámara. La carga superficial es neutralizada por la colección de iones y la superficie; provocando que el voltaje disminuya, ya que el voltaje del electrete disminuye en proporción a la concentración del radón. El uso de este

lector nos permitió conocer la diferencia de voltaje en un intervalo de tiempo, dato que fue usado posteriormente para calcular la dosis absorbida (E-PERM, 1998, pp.14-16).



Figura 5-2. Rad Elec Inc

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

Marvin fue el primero en sugerir el uso del electrete como dosímetro; sin embargo, a partir de los estudios realizados por Kotrappa y sus compañeros de trabajo se estableció que la cantidad medida V, del electrete es llamada lector del dosímetro. Suponiendo una colección de saturación de iones producida dentro del volumen de la cámara, se puede calcular el cambio teóricamente esperado en la lectura del dosímetro para una dosis de 1 mGy (Kotrappa et al., 1982: pp.175-177). La cantidad R se denomina respuesta del dosímetro y está dada a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{F \cdot v}{C(1 + \varepsilon \frac{d_p}{d_e})} \quad \rightarrow \quad \left[\frac{V}{mGy} \right] \quad (6)$$

Donde:

$F \rightarrow$ factor de conversión ($34,233 \times 10^{-12} \text{ C/mGy.ml}$)

$v \rightarrow$ volumen del electrete a temperatura y presión ambiental [ml]

$C \rightarrow$ Capacitancia del sistema (54pF)

$\varepsilon \rightarrow$ Constante dieléctrica del material

$d_p \rightarrow$ distancia entre las cargas y el electrete [cm]

$d_e \rightarrow$ espesor del electrete [cm]

2.3.4. Software USB Observador

Con el uso del Software Observer USB se realizó la obtención de los datos correspondientes a la dosis equivalente y la exposición, este se encarga de leer Conteo Total, CPM, $\mu\text{R/h}$, mR/h , CPS,

$\mu\text{Sv/h}$, de los cuales se utilizó, $\mu\text{Sv/h}$ y $\mu\text{R/h}$; además posee la habilidad de registrar los datos recibidos, establecer fecha de calibración y descargar las lecturas obtenidas a una PC. Los datos son desplegados a partir de un promedio de conteos en el tiempo establecido de forma digital en la pantalla del medidor (ver figura 6-2).



Figura 6-2. Software USB Observador

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.4. Procedimiento y manejo de las semillas

Para la presente investigación se utilizó semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), de la variedad INIAP 480 Rocha conocida comúnmente como frejol canario. Las semillas se compraron en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, ubicado en la Panamericana Sur Km. 1, Cantón Mejía, Pichincha. Para la muestra control se utilizó la misma semilla del lote adquirido. Las semillas fueron pesadas en grupos de seis cada grupo tenía un peso de 5g.

2.4.1. Uso del electrete

Inicialmente se midió el voltaje del electrete con ayuda del lector (Rad Elec Inc), apuntando un valor de 701 V; después se colocó la cámara de iones electrete (E-PERM) en el centro del montaje sellado con film plástico, con el fin de medir un cambio en el voltaje del electrete en un periodo de prueba de 2 horas pasado el tiempo establecido se usó el lector (Rad Elec Inc) para comprobar si existía una caída de voltaje del electrete (figura 7-2), obteniendo que no existía una variación en el voltaje. Se repitió el proceso ahora colocando el material radioactivo (Fuente de Uranio-238) dentro del montaje durante un periodo de 1 hora (figura 8-2), finalmente se colocó el electrete dentro del lector (Rad Elec Inc) donde se evidenció un potencial de 669V (figura 9-2). Este proceso se llevó a cabo en tres repeticiones de 1 hora cada uno.



Figura 7-2. Electrete

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.



Figura 8-2. Cámara de iones electrete (E-PERM) y fuente de Uranio-238

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.



Figura 9-2. Lector Rad Elec Inc

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.4.2. Irradiación de las semillas

La irradiación se llevó a cabo los días 21 y 22 de diciembre del año 2020. En un salón totalmente aislado y cerrado se midió con ayuda del detector Ranger EXP la radiación ambiental durante 5min, posteriormente se tomó 88g de piedra fraccionada (fuente de uranio-238), la misma que se colocó en los ocho compartimientos exteriores del montaje a 11g cada uno, de igual manera con ayuda del detector Ranger EXP se midió la radiación emitida por la fuente durante 10min. A

continuación, las semillas fueron colocadas en grupos de seis en el compartimiento central y finalmente se selló con film plástico (ver figura 10-2).



Figura 10-2. Colocación de fuente y semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

En la figura 11-2 se puede observar como el detector se ubicó a una distancia de 70 cm sobre la fuente y se realizó la obtención de datos con ayuda del software en los tiempos previamente establecidos de 10, 15, 30, 45 y 60 min. Se realizaron tres repeticiones por cada intervalo de tiempo, es decir se irradió 18 semillas en 10 min, 18 semillas en 15 min y así sucesivamente, obteniendo un total de 90 semillas irradiadas.



Figura 11-2. Irradiación de semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.4.3. Transporte de las semillas

Una vez irradiadas, las semillas fueron colocadas en fundas previamente etiquetadas y selladas. Las semillas fueron transportadas desde la ciudad de Riobamba hasta la ciudad de Otavalo el día 23 de diciembre del 2020, para un transporte más seguro se las coloco en contenedores de vidrio dentro de una estructura de zinc como se identifica en la figura 12-2.



Figura 12-2. Contenedor para el transporte de las semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.4.4. Germinación

Las semillas irradiadas se dejaron reposar durante cuatro días, es decir fueron puestas en proceso de germinación el día 27 de diciembre del 2020. Dentro de los materiales utilizados se encuentran (ver Figura 13-2): vasos de plástico transparentes, algodón, pipeta plástica Pasteur de 1ml, balanza.



Figura 13-2. Materiales usados para la germinación

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2.4.4.1. Procedimiento

1. Se pesó las semillas de la misma manera que antes de ser irradiadas (ver figura 14-2).



Figura 14-2. Peso de las semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

2. Se etiquetó los vasos transparentes como se evidencia en la figura 15-2.



Figura 15-2. Etiquetado de las semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

3. Se colocó algodón en un vaso transparente previamente etiquetado (ver figura 16-2).



Figura 16-2. Colocación del algodón

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

4. Se humedeció el algodón con ayuda de la pipeta plástica Pasteur de 1ml, colocando un 1ml de agua como se identifica en la figura 17-2.



Figura 17-2. Humedecimiento del algodón

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

5. Se colocó la semilla irradiada en medio del algodón que contenía el vaso como se observa en la figura 18-2.



Figura 18-2. Colocación de la semilla en el algodón

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

6. Se tapó la semilla con un poco más de algodón y se humedeció nuevamente con la pipeta plástica Pasteur de 1ml, colocando un 1ml de agua (ver figura 19-2).



Figura 19-2. Cubrimiento de la semilla

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2020.

El mismo proceso se llevó a cabo para todas las semillas irradiadas y para las semillas de control. Finalmente, las semillas fueron colocadas en un lugar seco y oscuro durante siete días con revisiones diarias donde se colocaban 1ml de agua para humectar los algodones. Este proceso tuvo una duración de siete días, donde la mayor parte 57,78% de las semillas irradiadas germinaron en cuatro días y las semillas de control en seis.

2.4.5. *Sembrado*

2.4.5.1. *Preparación del terreno*

El terreno se encuentra ubicado en la ciudad de Otavalo provincia de Imbabura, este fue preparado el día 1 de enero del 2021, dos días antes del proceso de siembra de las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*). La preparación del terreno consiste en el removimiento y arado de la tierra, además de la colocación de abono; con el fin de que este quede desterronado, suelto y bien nivelado (ver figura 20-2).



Figura 20-2. Preparación del terreno

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

Una vez listo el terreno se procedió a formar hileras por cada grupo experimental, es decir se formaron seis hileras.

2.4.5.2. Proceso de sembrado

El 3 de enero del 2021 se procedió a la siembra de las semillas, razón por la cual estas fueron retiradas de los vasos de germinación (ver figura 21-2) y se realizó la medición de la radícula, además de la observación y análisis de sus cambios.



Figura 21-2. Sembrado de las semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

Posteriormente fueron sembradas a 5cm de profundidad (ver figura 22-2) y con una separación de 30 cm, dónde se colocaron 18 semillas por hilera, a una temperatura promedio de 16°C.



Figura 22-2. Sembrado de las semillas

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

Finalmente se colocaron los letreros distintivos en cada una de las hileras, con el fin de poder identificar a que grupo pertenece cada semilla.

2.4.5.3. Crecimiento

El clima ha ido variando, lo que ha generado un retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta, sin embargo, el día 10 de enero del 2021 se identificó el surgimiento de las primeras plántulas (ver figura 23-2), en las cuales se empiezan a desplegar el primer par de hojas verdaderas, de las cuales posteriormente se desprenderá los cotiledones o falsas hojas.



Figura 23-2. Planta de frejol en estado V2

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

Los datos serán tomados al final del desarrollo de la planta (ver figura 24-2) con el fin de poder comparar y evidenciar los cambios fisiológicos de las mismas.



Figura 24-2. Planta de frejol en estado V3

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

2.5. Diagrama de flujo del marco metodológico

En la figura 25-2 se representa un diagrama de flujo de forma condensada de todo el proceso realizado en este proyecto integrador.

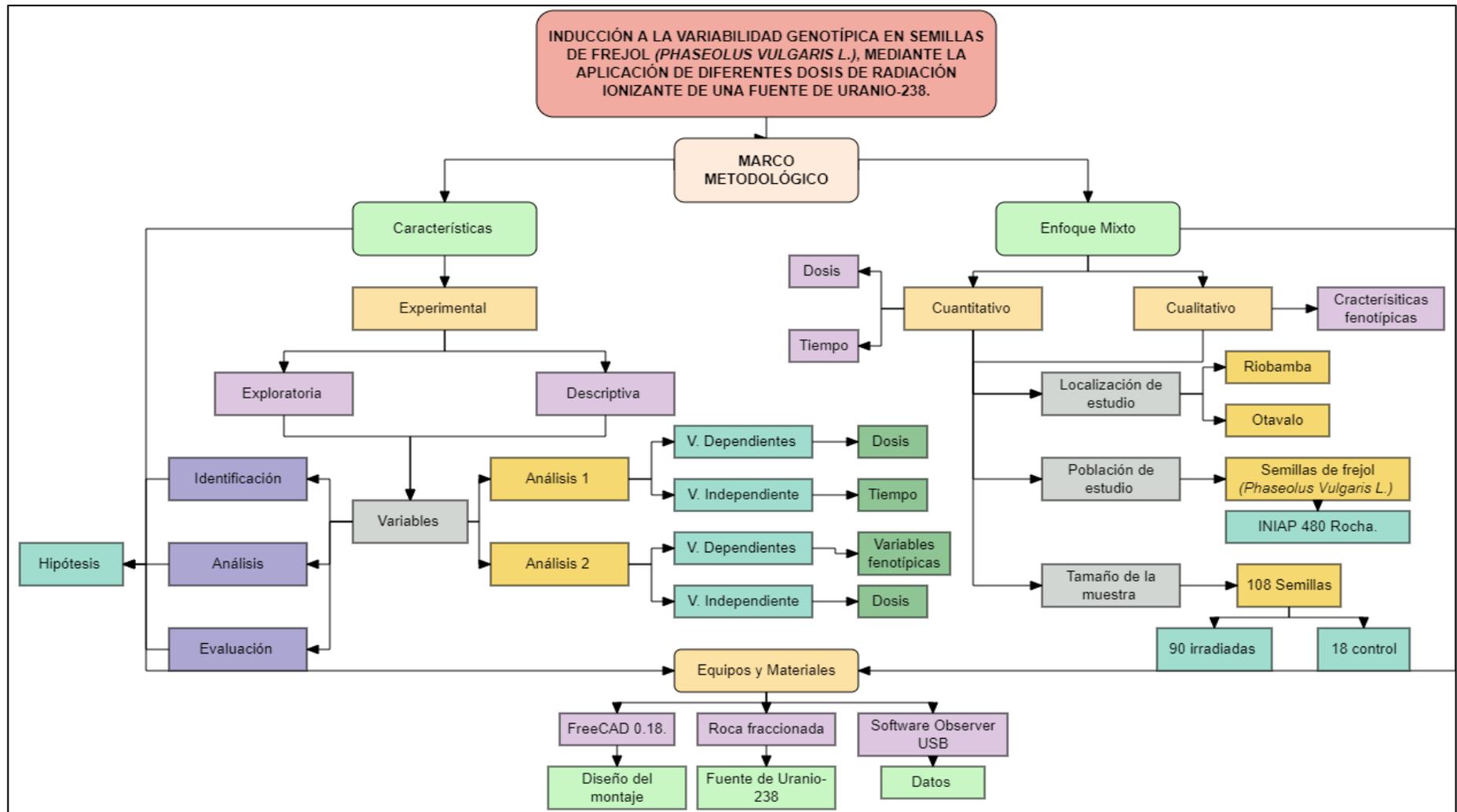


Figura 25-2. Diagrama de flujo del marco metodológico

Realizado por: Defaz, E.; Torres, N. 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se pretende establecer las tablas de datos para la determinación de los diferentes niveles de dosis de radiación ionizante, también se describe los efectos y cambios fenotípicos presentes en la germinación y el desarrollo de la planta hasta la finalización de la fase vegetativa, además se realiza un análisis estadístico y la interpretación de este. Finalmente se presenta la discusión de los resultados alcanzados.

3.1. Análisis de Resultados

3.1.1. Niveles de dosis de radiación ionizante

Para el primer análisis se consideró una variable dependiente tal como: Dosis Absorbida (D) y una variable independiente: Tiempo (T).

3.1.1.1. Dosis Absorbida

Haciendo uso de la ecuación (6) presentada en el capítulo II, se determinó la respuesta del dosímetro, tomando en consideración los datos presentados en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Datos y respuesta del electrete (dosímetro), en el año 2021

v (ml)	d _p (cm)	d _e (cm)	ε (Teflón)	Respuesta del dosímetro
				(V/mGy)
210	3	0,1588	2	3,43261339

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Una vez que se conoce la respuesta del electrete (dosímetro), se determinó la dosis absorbida, en los intervalos de tiempo establecidos (ver tabla 2-3).

Tabla 2-3: Datos y respuesta del electrete (dosímetro), en el año 2021

Tiempo de exposición (min)	Voltaje (V)	Nomenclatura	Dosis Absorbida
			(mGy)
10	5,33333333	D1-A	1,553723863
15	8	D2-A	2,330585795
30	16	D3-A	4,661171589
45	24	D4-A	6,991757384
60	32	D5-A	9,322343178
10	4,83333333	D1-B	1,408062251
15	7,25	D2-B	2,112093376
30	14,5	D3-B	4,224186753
45	21,75	D4-B	6,336280129
60	29	D5-B	8,448373505
10	4,66666667	D1-C	1,35950838
15	7	D2-C	2,03926257
30	14	D3-C	4,07852514
45	21	D4-C	6,117787711
60	28	D5-C	8,157050281

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

→Análisis grupos

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 3-3: Dosis Absorbida por grupos, en el año 2021

T (min)	D (mGy)	D (media) (mGy)
10	1,553723863	1,4404315
10	1,408062251	
10	1,35950838	
15	2,330585795	2,16064725
15	2,112093376	
15	2,03926257	
30	4,661171589	4,32129449
30	4,224186753	
30	4,07852514	
45	6,991757384	6,48194174
45	6,336280129	
45	6,117787711	
60	9,32234318	8,64258899
60	8,44837351	
60	8,15705028	

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

La tabla 3-3 muestra un análisis general del comportamiento de la dosis absorbida por las semillas con respecto al tiempo.

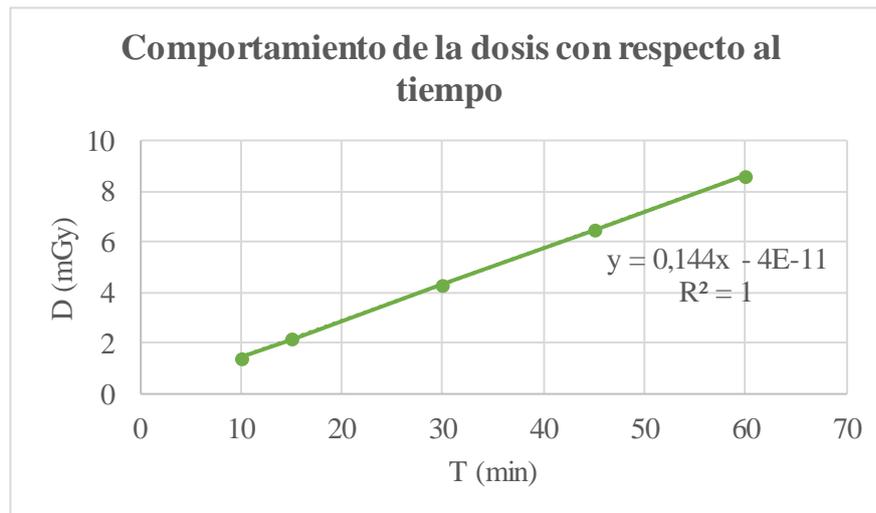


Gráfico 1-3. Diagrama de dispersión entre las dosis absorbidas de los grupos con respecto al tiempo

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El gráfico 1-3 nos muestra el comportamiento general de la dosis absorbida con respecto a los intervalos de tiempo previamente establecidos, se observa que la dosis absorbida aumenta con respecto al tiempo. Al hacer uso de la media entre cada subgrupo obtenemos un coeficiente de determinación R^2 igual a 1, el mismo que nos indica que el tiempo describe completamente el comportamiento de la dosis absorbida.

→ **Análisis subgrupos**

GRUPO 1 (10min):

Variables:

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 4-3: Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 10min, en el año 2021

T (min)	D(mGy)			
	A	B	C	MEDIA
10	1,553723863	1,408062251	1,35950838	1,4404315

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

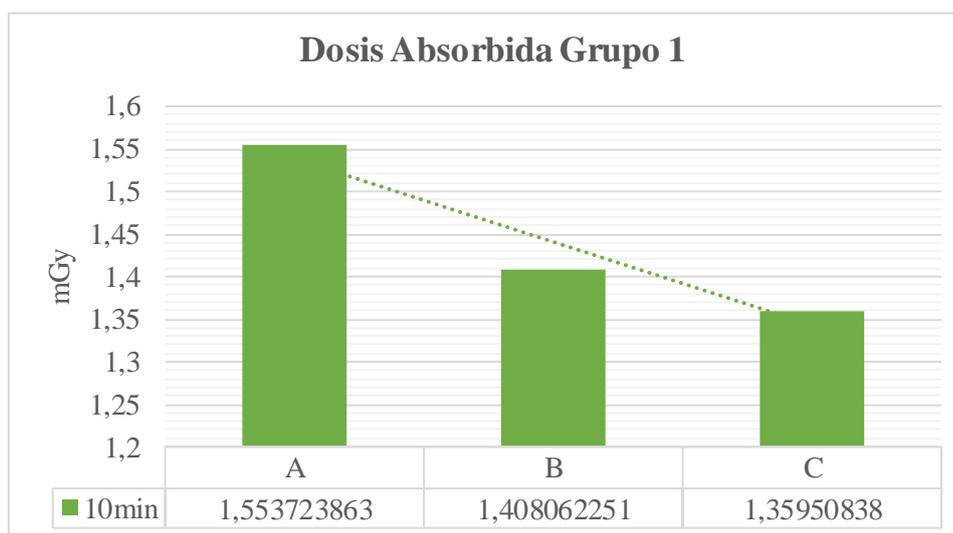


Gráfico 2-3. Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 10min

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La tabla 4-3 presenta un análisis comparativo entre las dosis absorbidas de los tres subgrupos para el intervalo de tiempo de 10min, donde la mayor dosis la recibieron las semillas del subgrupo A, con una dosis de 1,554mGy. En el gráfico 2-3 se observa un descenso en la dosis absorbida que de acuerdo con Chiluita, V. (2020, p.53), se debe a la dispersión en los valores del voltaje. Sin embargo, es importante mencionar que no existe una diferencia significativa entre los subgrupos.

GRUPO 2 (15min):

Variables:

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 5-3: Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 15min, en el año 2021

T (min)	D(mGy)			
	A	B	C	MEDIA
15	2,330585795	2,112093376	2,03926257	2,160647247

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

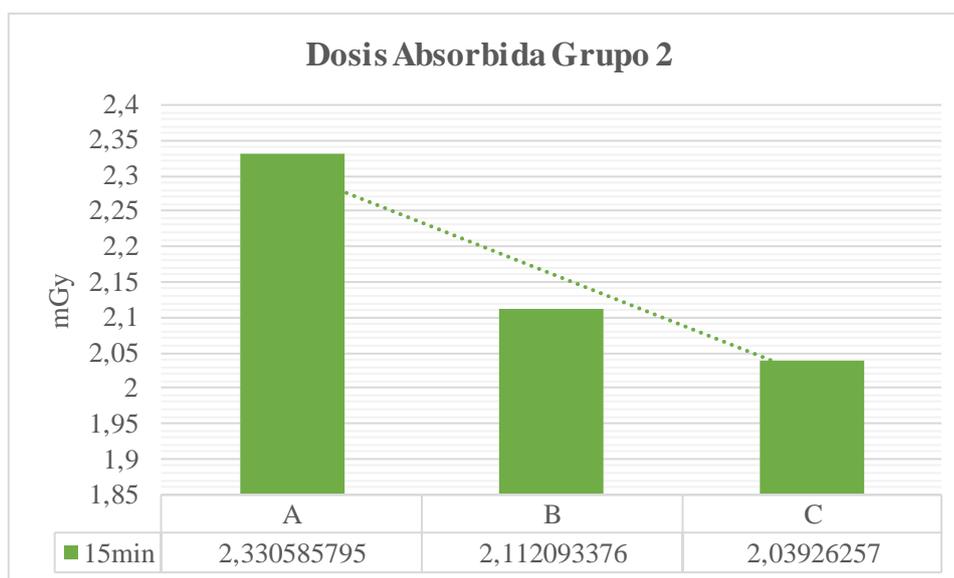


Gráfico 3-3. Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 15min

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El análisis comparativo entre las dosis absorbidas de los tres subgrupos para el intervalo de tiempo de 15min se observa en la tabla 5-3, donde la mayor dosis la recibieron las semillas del subgrupo A, con una dosis de 2,331mGy. Existe una diferencia entre A y B de 0,219 y entre B y C de 0,07; dichas diferencias no se consideran significativas ya que se deben a la dispersión en los valores del voltaje (Gráfico 3-3).

GRUPO 3 (30min):

Variables:

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 6-3: Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 30min, en el año 2021

T (min)	D(mGy)			
	A	B	C	MEDIA
30	4,661171589	4,224186753	4,07852514	4,321294494

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

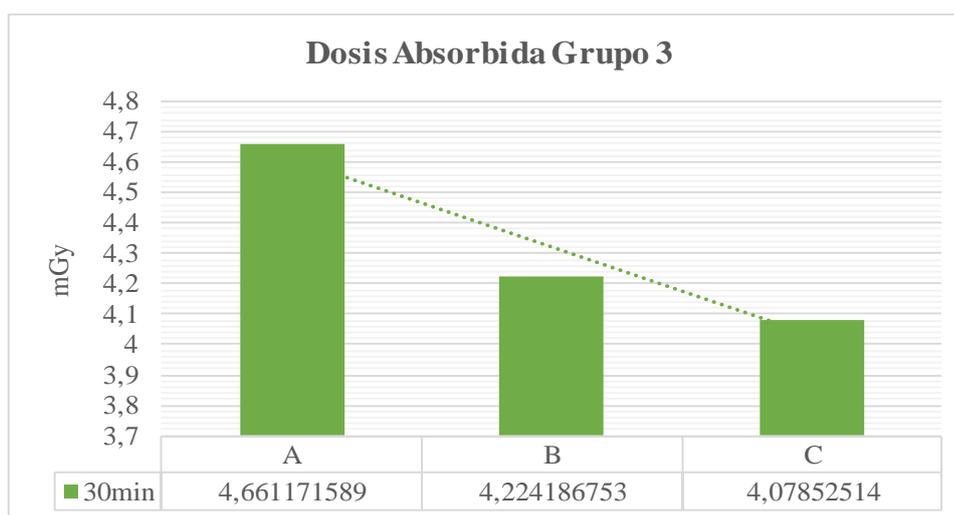


Gráfico 4-3. Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 30min

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El gráfico 4-3 muestra que existe un decremento entre los subgrupos del intervalo de tiempo de 30min. Donde la mayor dosis la recibieron las semillas del subgrupo A, con una dosis de 4,661mGy. Existe una diferencia entre A y B de 0,437 y entre B y C de 0,145; dichas diferencias no se consideran significativas ya que se deben a la dispersión en los valores del voltaje.

GRUPO 4 (45min):

Variables:

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 7-3: Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 45min, en el año 2021

T (min)	D(mGy)			
	A	B	C	MEDIA
45	6,991757384	6,336280129	6,117787711	6,481941741

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

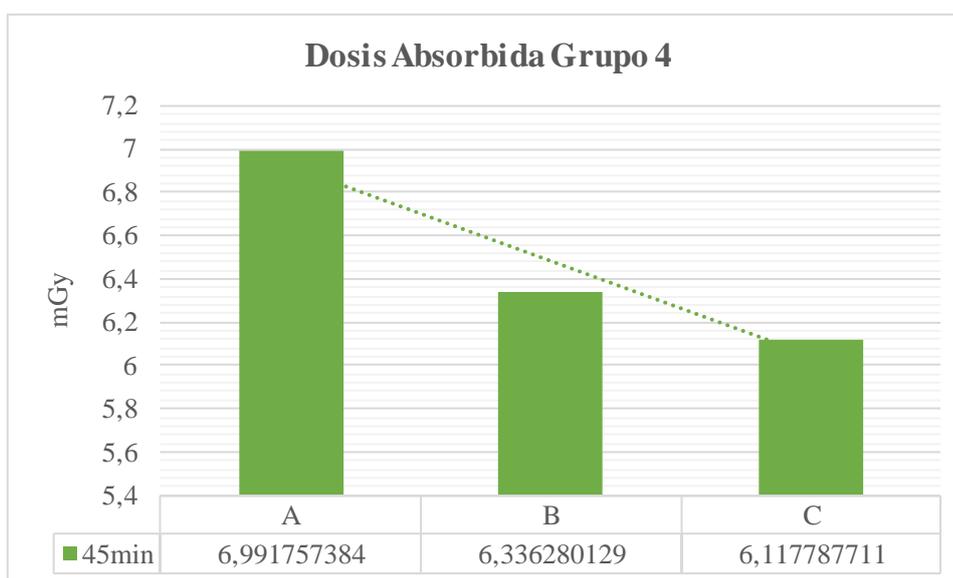


Gráfico 5-3. Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 45min

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La tabla 7-3 muestra un análisis comparativo entre los subgrupos A, B, C en el intervalo de tiempo de 45min. Existe una diferencia entre A y B de 0,655 y entre B y C de 0,218. La diferencia entre A y B se considera significativa, mientras que la diferencia entre B y C no es significativa dichos valores se deben a la dispersión en los valores del voltaje. El subgrupo A es el que mayor dosis absorbida posee con 6,992mGy.

GRUPO 5 (60min):

Variables:

Tiempo (min) → T

Dosis Absorbida (mGy) → D

Tabla 8-3: Análisis comparativo entre las dosis absorbidas obtenidas por un intervalo de tiempo de 60min, en el año 2021

T (min)	D(mGy)			
	A	B	C	MEDIA
60	9,32234318	8,44837351	8,15705028	8,64258899

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

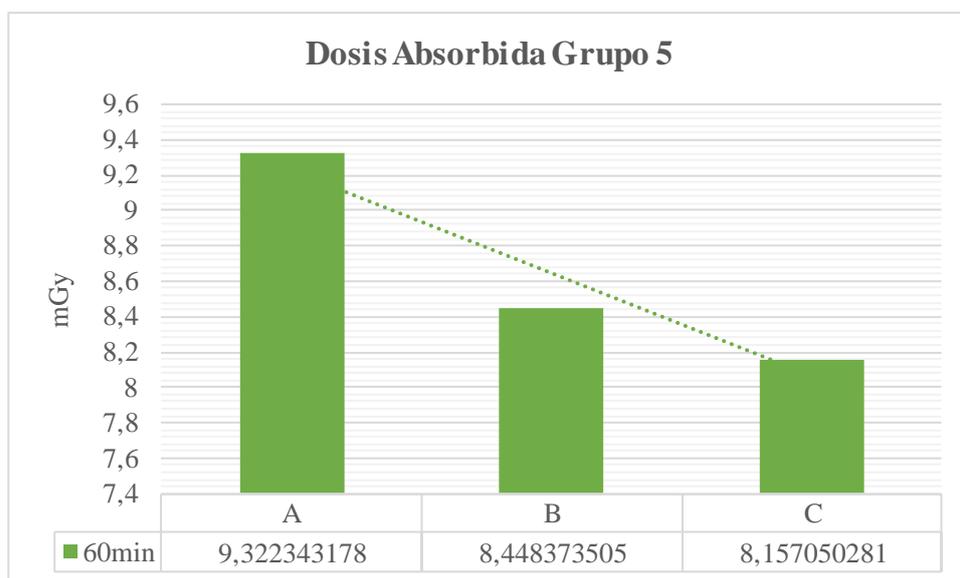


Gráfico 6-3. Histograma entre las dosis absorbidas de los subgrupos en un tiempo de 60min

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La tabla 8-3 muestra un análisis comparativo entre los subgrupos A, B, C en el intervalo de tiempo de 60min, donde el subgrupo A es el que mayor dosis absorbida posee con 9,322mGy. Existe una diferencia entre A y B de 0,874 y entre B y C de 0,291. La diferencia entre A y B se considera significativa, mientras que la diferencia entre B y C no es significativa dichos valores se deben a la dispersión en los valores del voltaje.

3.1.1.2. Planteamiento de la Hipótesis

Para la realización de este análisis se hizo uso del software Minitab, el mismo que permite la ejecución de funciones estadísticas básicas y avanzadas, se eligió este programa por su facilidad de uso, pues combina el fácil manejo de Microsoft Excel con la extensión de ejecución de análisis estadísticos.

La tabla 9-3 nos indica el planteamiento de la hipótesis para el análisis 1, en cuanto a la dependencia de la dosis absorbida con respecto al tiempo, considerando que el nivel de significancia viene dado por $\alpha \rightarrow 0,05$.

Tabla 9-3: Hipótesis de la dosis absorbida a distintos tiempos de exposición, en el año 2021

Factor	Forma Estadística	Forma Verbal
Factor X (Tiempo de exposición)	H ₀ : Efecto de X=0	H ₀ : El tiempo de exposición no influye sobre la dosis absorbida por las semillas.
	H ₁ : Efecto de X≠0	H ₁ : El tiempo de exposición influye sobre la dosis absorbida por las semillas.

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Grados de libertad (DF):

k → Número de grupos

N → Número de sujetos

Entre grupos

$$DF = k - 1 \quad (7)$$

$$DF = 5 - 1$$

$$\mathbf{DF = 4}$$

Dentro de grupos

$$DF = N - k \quad (8)$$

$$DF = 15 - 5$$

$$\mathbf{DF = 10}$$

Totales

$$DF = N - 1 \quad (9)$$

$$\mathbf{DF = 14}$$

Suma de cuadrados (SS):

En la tabla 10-3 se observa los datos requeridos para la realización de la suma de cuadrados, dónde n_i representa el número i-ésimo del grupo y S_i es la desviación estándar i-ésimo del grupo.

Tabla 10-3: Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021

n_i	\bar{x}_i	\bar{x}	S_i	S_i^2
3	1,4404315	4,60938079	0,10107294	0,01021574
3	2,16064725	4,60938079	0,15160941	0,02298541
3	4,32129449	4,60938079	0,30321883	0,09194166
3	6,48194174	4,60938079	0,45482824	0,20686873
3	8,64258899	4,60938079	0,60643765	0,36776662

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Entre grupos

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$SS_B = 107,684347$$

Dentro de grupos

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \quad (11)$$

$$SS_w = 1,39955632$$

Totales

$$SS_T = SS_B + SS_w \quad (12)$$

$$SS_T = 109,083903$$

Cuadrado medio (MS):

Entre grupos

$$MS_B = \frac{SS_B}{(k-1)} \quad (13)$$

$$MS_B = 26,9210866$$

Dentro de grupos

$$MS_w = \frac{SS_w}{(N-1)} \quad (14)$$

$$MS_w = 0,13995563$$

Estadística F:

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (15)$$

$$F = 192,354436$$

Valor p:

$$\text{Cola derecha de } F(k - 1, Nk) \quad (16)$$

Los datos mencionados anteriormente se encuentran resumidos en la tabla 11-3 para una mejor interpretación de los resultados de la prueba ANOVA.

Tabla 11-3: Resumen de ANOVA Datos, en el año 2021

Resumen de ANOVA					
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad (DF)</i>	<i>Suma de cuadrados (SS)</i>	<i>Media cuadrática (MS)</i>	<i>Estadística F</i>	<i>Valor p</i>
<i>Entre grupos</i>	4	107,685	26,921	192,354	2.06363e-9
<i>Dentro de grupos</i>	10	1,339	0,139		
<i>Total</i>	14	109,085			

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Como se identifica en la tabla 11-3 el valor de p es menor que el nivel de significancia (0,05) por lo cual se rechaza H_0 y se concluye así que el tiempo de exposición si influye sobre la dosis absorbida por las semillas.

Finalmente, en el gráfico 7-3 se establece el comportamiento de la dosis absorbida con respecto al tiempo.

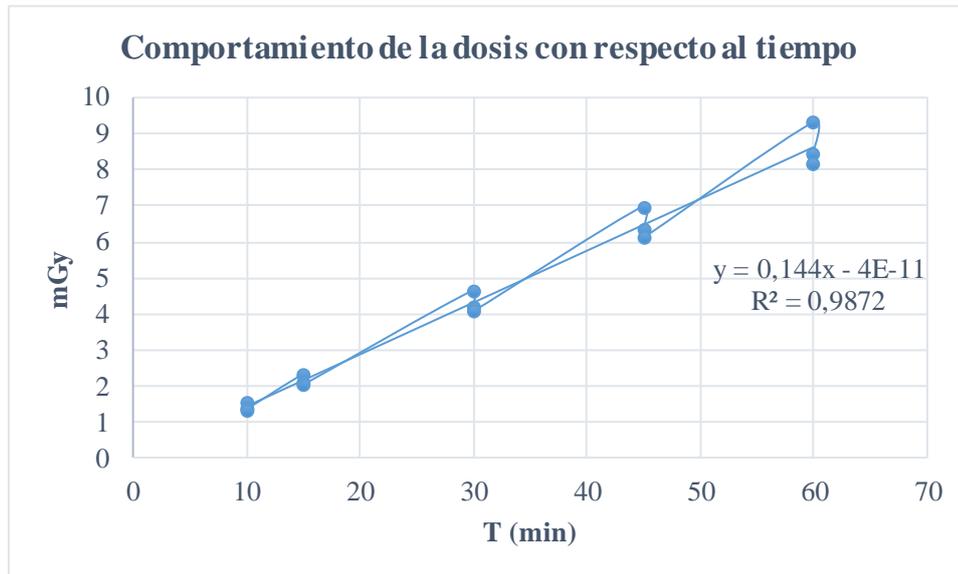


Gráfico 7-3. Comportamiento de la dosis absorbida con respecto al tiempo

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

En la gráfica 7-3 se observa que la dosis absorbida muestra un comportamiento creciente por lo que podemos concluir que el tiempo si influye en la dosis absorbida; a mayor tiempo mayor es la dosis absorbida, tanto para el análisis realizado por los subgrupos como para el análisis de los grupos en general.

3.1.2. Efectos y cambios fenotípicos

Para el segundo análisis se consideró variables dependientes tales como: variables fenotípicas (germinación, hojas, tallo) y una variable independiente: Dosis Absorbida (D).

3.1.2.1. Germinación

La tabla 12-3 muestra una comparación entre las semillas control y las semillas irradiadas en cuanto a la dosis absorbida (D) y el promedio de longitud de la radícula (PLR).

Variables:

Dosis Absorbida (mGy) → D

SC → semillas control

SI → semillas irradiadas

NS → Número de semillas

NPG → Número de plantas germinadas

PLR → Promedio de longitud de la radícula

Tabla 12-3: Cambios fenotípicos presentes durante la germinación, en el año 2021

Grupos	D(mGy)	NS	NPG	PLR (cm)
Control	0	18	16	4,422222222
10 min (A)	1,553723863	6	6	3,216666667
10 min (B)	1,408062251	6	6	4,3
10 min (C)	1,35950838	6	6	3,916666667
15 min (A)	2,330585795	6	6	3,833333333
15 min (B)	2,112093376	6	6	4,416666667
15 min (C)	2,03926257	6	6	3,833333333
30 min (A)	4,661171589	6	6	4
30 min (B)	4,224186753	6	6	5
30 min (C)	4,07852514	6	6	4,916666667
45 min (A)	6,991757384	6	6	4,25
45 min (B)	6,336280129	6	6	4,5
45 min (C)	6,117787711	6	6	4,5
60 min (A)	9,322343178	6	6	4,133333333
60 min (B)	8,448373505	6	6	4,166666667
60 min (C)	8,157050281	6	6	4,416666667
TOTAL SC	0	18	16	4,422222222
TOTAL SI	69,1407119	90	90	4,226666667
TOTAL	69,1407119	108	106	

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Plantas germinadas:

La tabla 13-3 muestra el promedio por grupo de la germinación de las semillas tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 13-3: Análisis comparativo entre el número de semillas y el número de plantas germinadas, en el año 2021

D (Gy)	NS	NPG
0	18	16
1,440431498	18	18
2,160647247	18	18
4,321294494	18	18
6,481941741	18	18
8,642588988	18	18

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

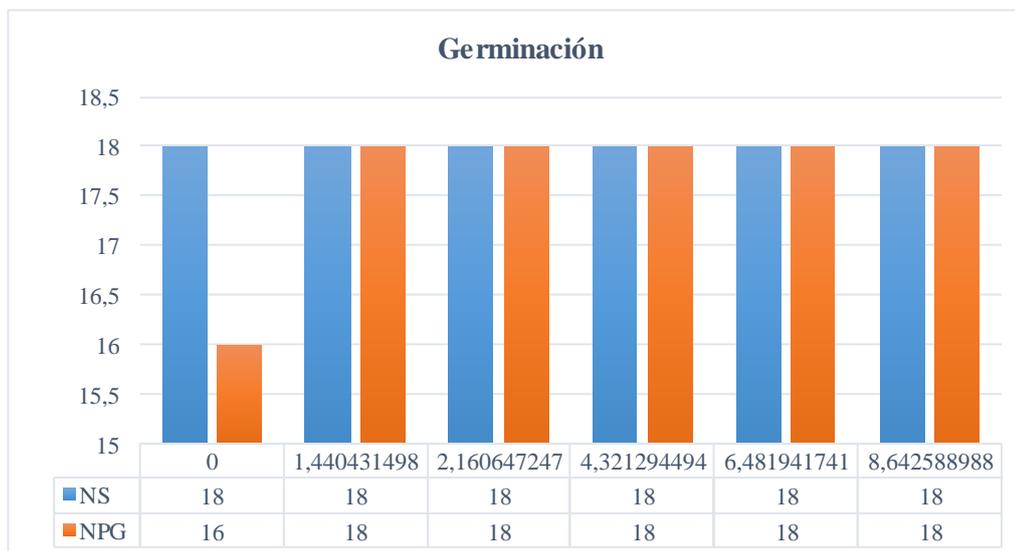


Gráfico 8-3. Histograma comparativo entre el número de semillas y el número de plantas germinadas

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El gráfico 8-3 nos muestra que el número de plantas germinadas (NPG) es menor que el número de semillas que se tenía inicialmente, siendo las semillas de control el grupo que presentó dos semillas sin germinar. Además, se analiza que la dosis absorbida por los grupos irradiados no afecta de manera significativa a la germinación de estos.

Promedio de la longitud de la Radícula:

La tabla 14-3 muestra el promedio por grupo de la longitud de la radícula de las semillas tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 14-3: Promedio de longitud de la radícula, en el año 2021

Nomenclatura	Dosis (mGy)	PLR (cm)
D0	0	4,422222222
D1	1,440431498	3,811111111
D2	2,160647247	4,027777778
D3	4,321294494	4,638888889
D4	6,481941741	4,416666667
D5	8,642588988	4,23888889

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

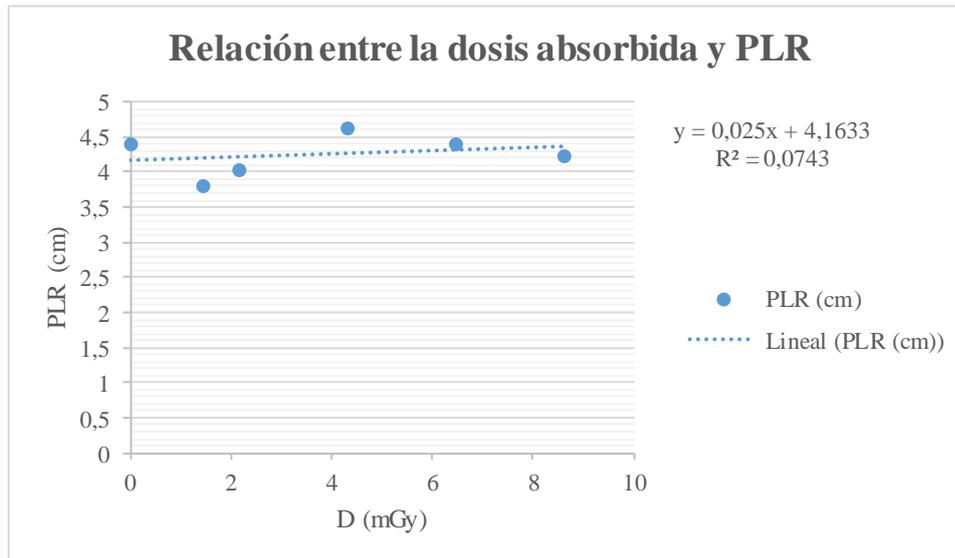


Gráfico 9-3. Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio de longitud de la radícula

Realizado por: Defáz E., Torres N. 2021.

En el gráfico 9-3 se observa un diagrama de dispersión donde el tamaño promedio de longitud de la radícula (PLR) del grupo que recibió una dosis absorbida de 4,321mGy es mayor en comparación a los demás grupos y a las semillas control. De igual manera se observa que el grupo que recibió una dosis absorbida de 1,440mGy presentó un tamaño promedio de longitud de la radícula (PLR) menor a las semillas control y los demás grupos.

Planteamiento de la hipótesis

La tabla 15-3 nos indica el planteamiento de la hipótesis para el análisis 2, específicamente para el promedio de longitud de la radícula; considerando que el nivel de significancia viene dado por $\alpha \rightarrow 0,05$

Tabla 15-3: Hipótesis del promedio de la longitud de la radícula a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021

Factor	Forma Estadística	Forma Verbal
Factor X (Dosis Absorbida)	H ₀ : Efecto de X=0	H ₀ : La dosis absorbida no influye sobre el promedio de longitud de la radícula.
	H ₁ : Efecto de X≠0	H ₁ : La dosis absorbida influye sobre el promedio de longitud de la radícula.

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Grados de libertad (DF):

k → Número de grupos

N → Número de sujetos

Entre grupos

$$DF = k - 1 \tag{7}$$

$$DF = 5 - 1$$

$$\mathbf{DF = 4}$$

Dentro de grupos

$$DF = N - k \tag{8}$$

$$DF = 90 - 5$$

$$\mathbf{DF = 85}$$

Totales

$$DF = N - 1 \tag{9}$$

$$\mathbf{DF = 89}$$

Suma de cuadrados (SS):

En la siguiente tabla (16-3) se observa los datos requeridos para la realización de la suma de cuadrados, donde n_i representa el número i -ésimo del grupo y S_i es la desviación estándar i -ésimo del grupo.

Tabla 16-3: Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021

n_i	\bar{x}_i	\bar{x}	S_i	S_i^2
18	3,811111111	4,22666667	1,67398394	2,80222222
18	4,02777778	4,22666667	1,57622242	2,48447712
18	4,63888889	4,22666667	2,02052378	4,08251634
18	4,41666667	4,22666667	1,53632487	2,36029412
18	4,23888889	4,22666667	1,20691093	1,45663399

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Entre grupos

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$SS_B = 7,53155556$$

Dentro de grupos

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \quad (11)$$

$$SS_w = 224,164444$$

Totales

$$SS_T = SS_B + SS_w \quad (12)$$

$$SS_T = 231,696$$

Cuadrado medio (MS):

Entre grupos

$$MS_B = \frac{SS_B}{(k-1)} \quad (13)$$

$$MS_B = 1,88288889$$

Dentro de grupos

$$MS_w = \frac{SS_w}{(N-1)} \quad (14)$$

$$MS_w = 2,63722876$$

Estadística F:

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (15)$$

$$F = 0,71396495$$

Valor p:

$$\text{Cola derecha de } F(k - 1, Nk) \quad (16)$$

Los datos mencionados anteriormente se encuentran resumidos en la tabla 17-3 para una mejor interpretación de los resultados de la prueba ANOVA.

Tabla 17-3: Resumen de ANOVA Datos, en el año 2021

Resumen de ANOVA					
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad (DF)</i>	<i>Suma de cuadrados (SS)</i>	<i>Media cuadrática (MS)</i>	<i>Estadística F</i>	<i>Valor p</i>
<i>Entre grupos</i>	4	7,53155556	1,88288889	0,71396495	0,584657
<i>Dentro de grupos</i>	85	224,164444	2,63722876		
<i>Total</i>	89	231,696			

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Como se observa en la tabla 17-3 el valor de p es 0,584657 es decir $p > \alpha$ por lo cual se acepta H_0 , concluyendo así que la dosis absorbida no influye sobre el promedio de longitud de la radícula. En otras palabras, la diferencia entre los promedios de longitud de la radícula de todos los grupos no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa.

Finalmente, en el gráfico 10-3 se establece el comportamiento del promedio de longitud de la radícula con respecto a la dosis.

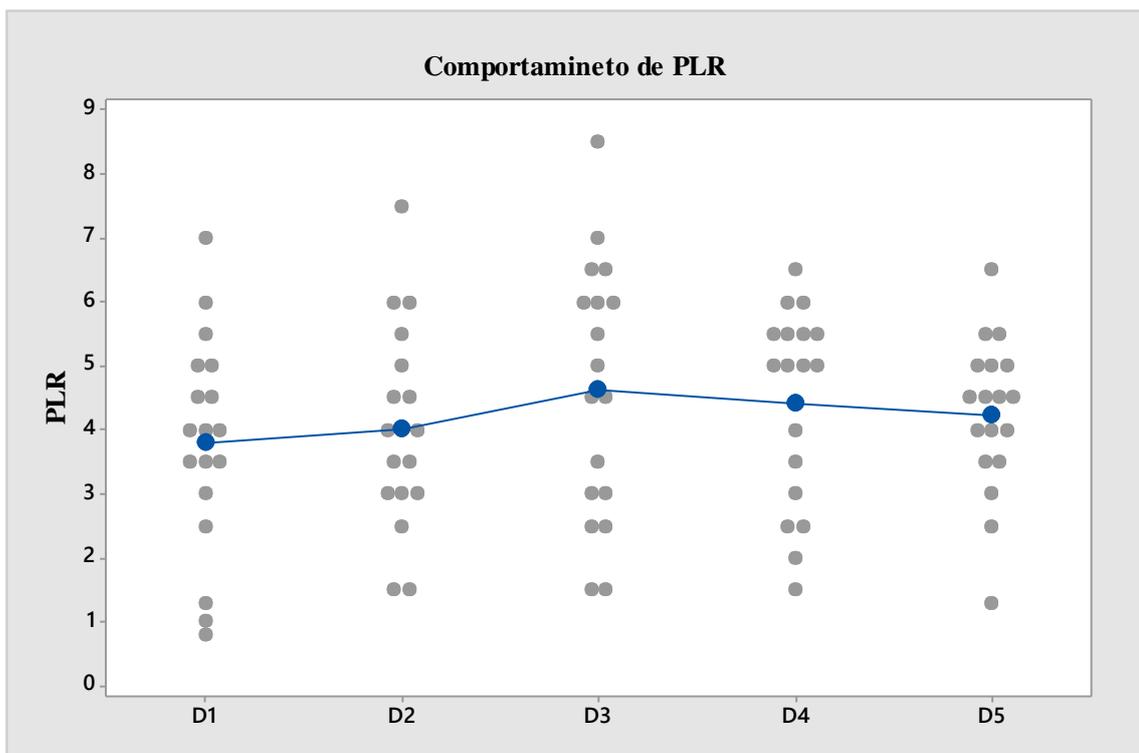


Gráfico 10-3. Comportamiento de PLR

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

Se evidencia que, a una dosis absorbida de 4,321 mGy (D3) el promedio de longitud de la radícula es mayor; sin embargo, no podemos rechazar H_0 ya que su probabilidad es demasiado alta: 58.47%; es decir las medias del promedio de longitud de la radícula no son lo suficientemente significativas (no difieren entre ellas).

3.1.2.2. Hojas

La tabla 18-3 muestra una comparación entre las semillas control y las semillas irradiadas en cuanto a la dosis absorbida (D), el número de plantas emergentes (NPE) y el promedio de longitud de las hojas principales y trifoliadas.

Variables:

Dosis Absorbida (mGy) → D

SC → semillas control

SI → semillas irradiadas

NS → Número de semillas

NPE → Número de plantas emergentes

PTHP → Promedio tamaño de las hojas principales

PTHT → Promedio tamaño de las hojas trifoliadas

Tabla 18-3: Cambios fenotípicos presentes en el crecimiento de la planta, en el año 2021

Grupos	D(mGy)	NS	NPE	PTHP (cm)	PTHT (cm)
Control	0	18	6	6,208333333	6,1945
10 min (1)	1,553723863	6	2	5,375	4,833
10 min (2)	1,408062251	6	4	6,4375	6,5
10 min (3)	1,35950838	6	3	4,916666667	5,94433333
15 min (1)	2,330585795	6	2	5	5,3335
15 min (2)	2,112093376	6	4	5,625	5,9585
15 min (3)	2,03926257	6	2	4,875	5,25
30 min (1)	4,661171589	6	2	4,125	4,583
30 min (2)	4,224186753	6	3	6	6,611
30 min (3)	4,07852514	6	3	6	6,11133333
45 min (1)	6,991757384	6	2	6,75	5,75
45 min (2)	6,336280129	6	3	4,333333333	5,611
45 min (3)	6,117787711	6	3	4,833333333	4,49966667
60 min (1)	9,322343178	6	2	5,5	5
60 min (2)	8,448373505	6	2	6,875	5,5
60 min (3)	8,157050281	6	2	6,25	8,0835
TOTAL SC	0	18	6	6,208333333	6,1945
TOTAL SI	69,1407119	90	39	5,526388889	5,70458889
TOTAL	69,1407119	108	45		

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Plantas Emergentes:

En la tabla 19-3 se observa una comparación entre el promedio por grupo de las plantas germinadas y el promedio por grupo de las plantas emergentes tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 19-3: Análisis comparativo entre el número de plantas germinadas y el número de plantas emergentes, en el año 2021

D (mGy)	NPG	NPE
0	16	6
1,440431498	18	9
2,160647247	18	8
4,321294494	18	8
6,481941741	18	8
8,642588988	18	6

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

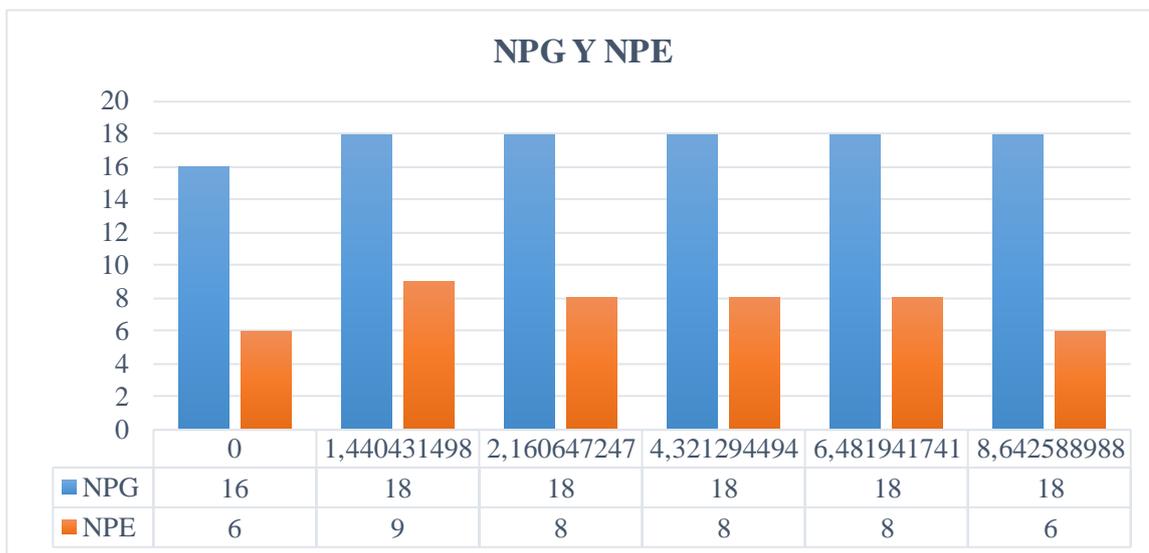


Gráfico 11-3. Histograma comparativo entre el número de plantas germinadas y el número de plantas emergentes

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

En el gráfico 11-3 se observa que el número total de plantas emergentes (NPE) es mucho menor que el número de total de plantas germinadas (NPG), sin embargo, el número de plantas emergentes del grupo 1 (10 min) mismo que estuvo expuesto a una dosis de 1,440mGy fue mayor que el número de plantas emergentes de los otros grupos. Además, se evidencia un número de plantas emergentes igualitario para las semillas control y para las semillas expuestas a una dosis de 8,643mGy.

Promedio tamaño de las hojas principales:

La tabla 20-3 nos indica un promedio por grupo de los tamaños de las hojas primarias tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 20-3: Promedio tamaño hojas primarias, en el año 2021

Nomenclatura	D (mGy/h)	PTHP (cm)
D0	0	6,208333333
D1	1,440431498	5,694444444
D2	2,160647247	5,28125
D3	4,321294494	5,53125
D4	6,481941741	5,125
D5	8,642588988	6,208333333

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

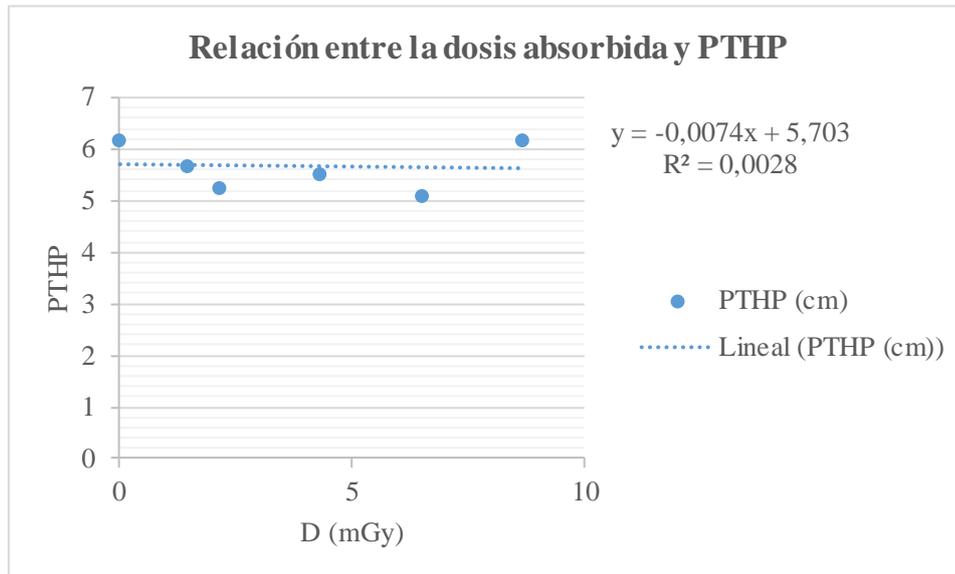


Gráfico 12-3. Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio del tamaño de las hojas primarias

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El gráfico 12-3 nos muestra que las semillas que se expusieron a una dosis absorbida de 8,643mGy presenta el mismo promedio del tamaño de las hojas primarias (PTHP) que las semillas control. El tamaño de las hojas primarias (PTHP) de las semillas control fue mayor que los grupos irradiados durante 10, 15,30 y 45 minutos.

Planteamiento de la hipótesis

El planteamiento de la hipótesis para el análisis 2, específicamente para el promedio del tamaño de las hojas principales (PTHP) se encuentra detallado a continuación en la tabla 21-3; considerando que el nivel de significancia viene dado por $\alpha \rightarrow 0,05$.

Tabla 21-3: Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas principales a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021

Factor	Forma Estadística	Forma Verbal
Factor X (Dosis Absorbida)	H ₀ : Efecto de X=0	H ₀ : La dosis absorbida no influye sobre el promedio del tamaño de las hojas principales.
	H ₁ : Efecto de X≠0	H ₁ : La dosis absorbida influye sobre el promedio del tamaño de las hojas principales.

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Grados de libertad (DF):

k → Número de grupos

N → Número de sujetos

Entre grupos

$$DF = k - 1 \tag{7}$$

$$DF = 5 - 1$$

$$\mathbf{DF = 4}$$

Dentro de grupos

$$DF = N - k \tag{8}$$

$$DF = 39 - 5$$

$$\mathbf{DF = 34}$$

Totales

$$DF = N - 1 \tag{9}$$

$$\mathbf{DF = 38}$$

Suma de cuadrados (SS):

En la siguiente tabla (22-3) se observa los datos requeridos para la realización de la suma de cuadrados, donde n_i representa el número i-ésimo del grupo y S_i es la desviación estándar i-ésimo del grupo.

Tabla 22-3: Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021

n_i	\bar{x}_i	\bar{x}	S_i	S_i^2
9	5,69444444	5,53846154	1,52468121	2,32465278
8	5,28125	5,53846154	0,82848291	0,68638393
8	5,53125	5,53846154	1,00389865	1,0078125
8	5,125	5,53846154	1,28868704	1,66071429
6	6,20833333	5,53846154	0,94096582	0,88541667

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Entre grupos

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$SS_B = 4,80862714$$

Dentro de grupos

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \quad (11)$$

$$SS_w = 46, 5086806$$

Totales

$$SS_T = SS_B + SS_w \quad (12)$$

$$SS_T = 51, 3173077$$

Cuadrado medio (MS):

Entre grupos

$$MS_B = \frac{SS_B}{(k-1)} \quad (13)$$

$$MS_B = 1,20215678$$

Dentro de grupos

$$MS_w = \frac{SS_w}{(N-1)} \quad (14)$$

$$MS_w = 1,36790237$$

Estadística F:

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (15)$$

$$F = 0,8788323$$

Valor p:

$$\text{Cola derecha de } F(k - 1, Nk) \quad (16)$$

Los datos mencionados anteriormente se encuentran resumidos en la tabla 23-3 para una mejor interpretación de los resultados de la prueba ANOVA.

Tabla 23-3: Resumen de ANOVA datos, en el año 2021

Resumen de ANOVA					
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad (DF)</i>	<i>Suma de cuadrados (SS)</i>	<i>Media cuadrática (MS)</i>	<i>Estadística F</i>	<i>Valor p</i>
<i>Entre grupos</i>	4	4,80862714	1,20215678	0,8788323	0,486844
<i>Dentro de grupos</i>	34	46,5086806	1,36790237		
<i>Total</i>	38	51,3173077			

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

El valor de p es 0,487 es decir $p > \alpha$ por lo cual se acepta H_0 , concluyendo así que la dosis absorbida no influye sobre el promedio del tamaño de las hojas principales. Es decir, la diferencia entre los promedios del tamaño de las hojas de todos los grupos no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa, como se evidencia en la tabla 23-3.

El gráfico 13-3 establece el comportamiento del promedio del tamaño de las hojas con respecto a la dosis.

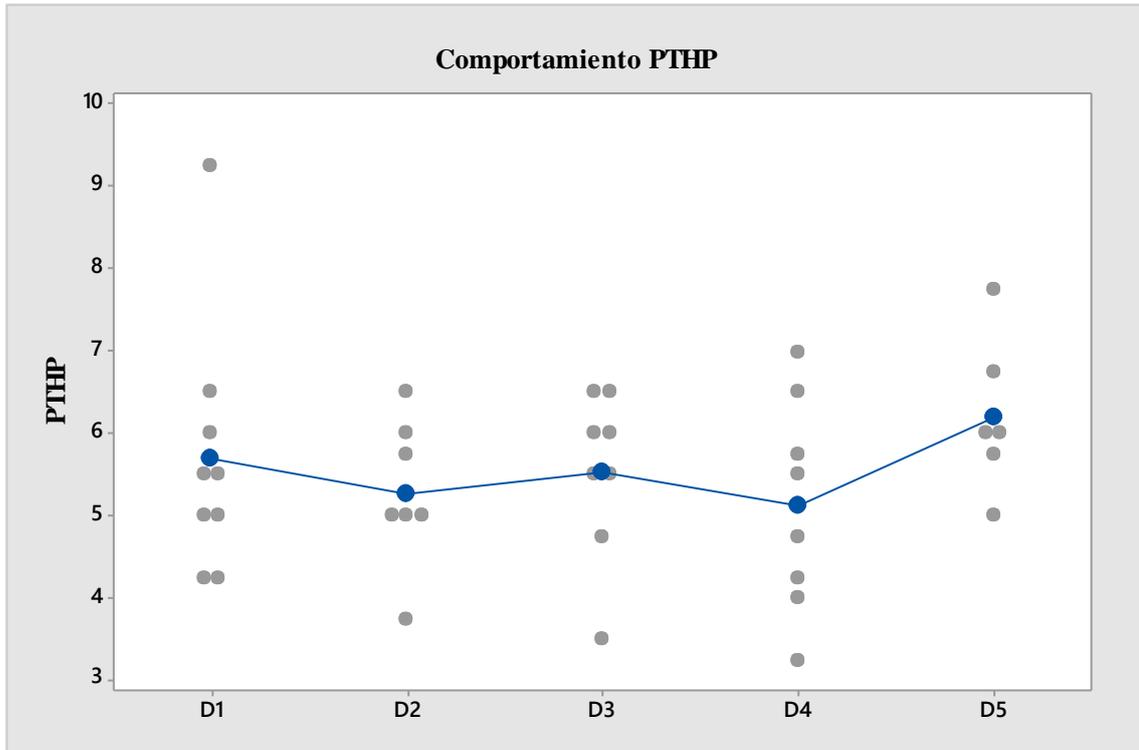


Gráfico 13-3. Comportamiento de PTHP

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La gráfica 13-3 muestra que, a una dosis absorbida de 8,643mGy (D5) el promedio del tamaño de las hojas principales es mayor; sin embargo, no podemos rechazar H_0 ya que su probabilidad es alta: 48,68%; en otras palabras, las medias del promedio del tamaño de las hojas principales (PTHP) no son lo suficientemente significativas.

Promedio tamaño de las hojas trifoliadas:

La tabla 24-3 nos muestra un promedio por grupo de los tamaños de las hojas trifoliadas tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 24-3: Promedio tamaño hojas trifoliadas, en el año 2021

Nomenclatura	D (mGy)	PTHT (cm)
D0	0	6,1945
D1	1,440431498	5,94433333
D2	2,160647247	5,625125
D3	4,321294494	6,354125
D4	6,481941741	5,23525
D5	8,642588988	6,1945

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

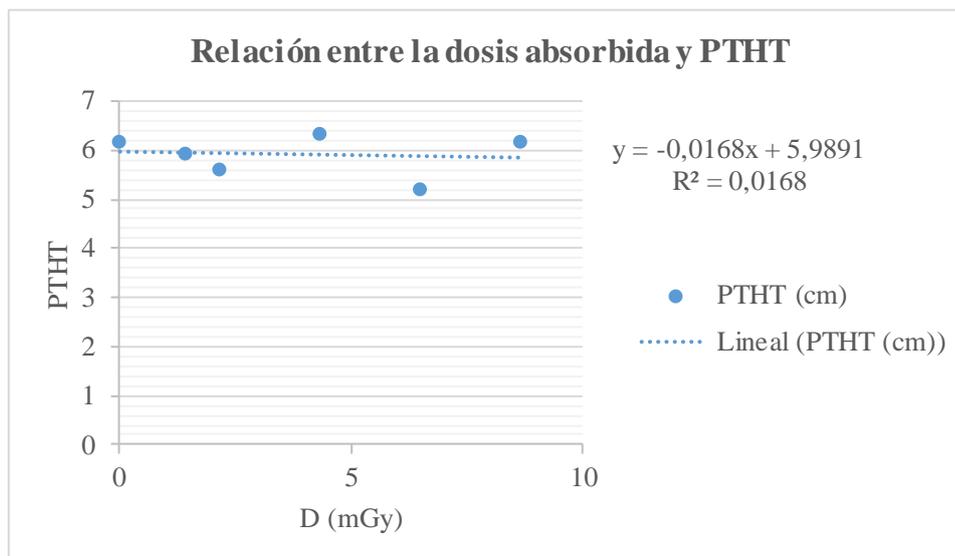


Gráfico 14-3. Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

En el gráfico 14-3 se analiza que el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas (PTHT) del grupo control es mayor que los grupos irradiados durante 10, 15, 30 y 45 minutos.

Se observa que las semillas que se expusieron a una dosis absorbida de 8,643mGy presentan un promedio del tamaño de las hojas trifoliadas (PTHT) semejante que las semillas control de 6,195cm.

Planteamiento de la hipótesis

En la tabla 25-3 se detalla el planteamiento de la hipótesis para el análisis 2, específicamente para el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas (PTHT); considerando que el nivel de significancia viene dado por $\alpha \rightarrow 0,05$.

Tabla 25-3: Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021

Factor	Forma Estadística	Forma Verbal
Factor X (Dosis Absorbida)	H ₀ : Efecto de X=0	H ₀ : La dosis absorbida no influye sobre el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas.
	H ₁ : Efecto de X≠0	H ₁ : La dosis absorbida influye sobre el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas.

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Grados de libertad (DF):

k → Número de grupos

N → Número de sujetos

Entre grupos

$$DF = k - 1 \tag{7}$$

$$DF = 5 - 1$$

$$DF = 4$$

Dentro de grupos

$$DF = N - k \tag{8}$$

$$DF=39-5$$

$$DF= 34$$

Totales

$$DF = N - 1$$

(9)

$$DF= 38$$

Suma de cuadrados (SS):

En la siguiente tabla 26-3 se observa los datos requeridos para la realización de la suma de cuadrados, dónde n_i representa el número i -ésimo del grupo y S_i es la desviación estándar i -ésimo del grupo.

Tabla 26-3: Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021

n_i	\bar{x}_i	\bar{x}	S_i	S_i^2
9	5,94433333	5,85594872	1,17262174	1,37504175
8	5,625125	5,85594872	0,75479163	0,56971041
8	6,354125	5,85594872	1,4070733	1,97985527
8	5,23525	5,85594872	1,02002602	1,04045307
6	6,1945	5,85594872	2,12257794	4,5053371

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Entre grupos

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

(10)

$$SS_B= 6,251817147$$

Dentro de grupos

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1)S_i^2$$

(11)

$$SS_w= 58, 65715075$$

Totales

$$SS_T = SS_B + SS_w$$

(12)

$$SS_T=64, 9089679$$

Cuadrado medio (MS):

Entre grupos

$$MS_B = \frac{SS_B}{(k-1)} \quad (13)$$

$$MS_B = 1,562954287$$

Dentro de grupos

$$MS_w = \frac{SS_w}{(N-1)} \quad (14)$$

$$MS_w = 1,725210316$$

Estadística F:

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (15)$$

$$F = 0,905950001$$

Valor p:

Cola derecha de $F(k - 1, Nk)$ (16)

La tabla 27-3 muestra los datos mencionados anteriormente para una mejor interpretación de los resultados de la prueba ANOVA.

Tabla 27-3: Resumen de ANOVA datos, en el año 2021

Resumen de ANOVA					
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad (DF)</i>	<i>Suma de cuadrados (SS)</i>	<i>Media cuadrática (MS)</i>	<i>Estadística F</i>	<i>Valor p</i>
<i>Entre grupos</i>	4	6,251817147	1,562954287	0,905950001	0,471465
<i>Dentro de grupos</i>	34	58,65715075	1,725210316		
<i>Total</i>	38	64,9089679			

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

La tabla 27-3 muestra que el valor de p es 0,471 es decir $p > \alpha$ por lo cual se acepta H_0 , concluyendo así que la dosis absorbida no influye sobre el promedio del tamaño de las hojas

trifoliadas. Es decir, la diferencia entre los promedios del tamaño de las hojas trifoliadas de todos los grupos no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativas.

El gráfico 15-3 establece el comportamiento del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas con respecto a la dosis.

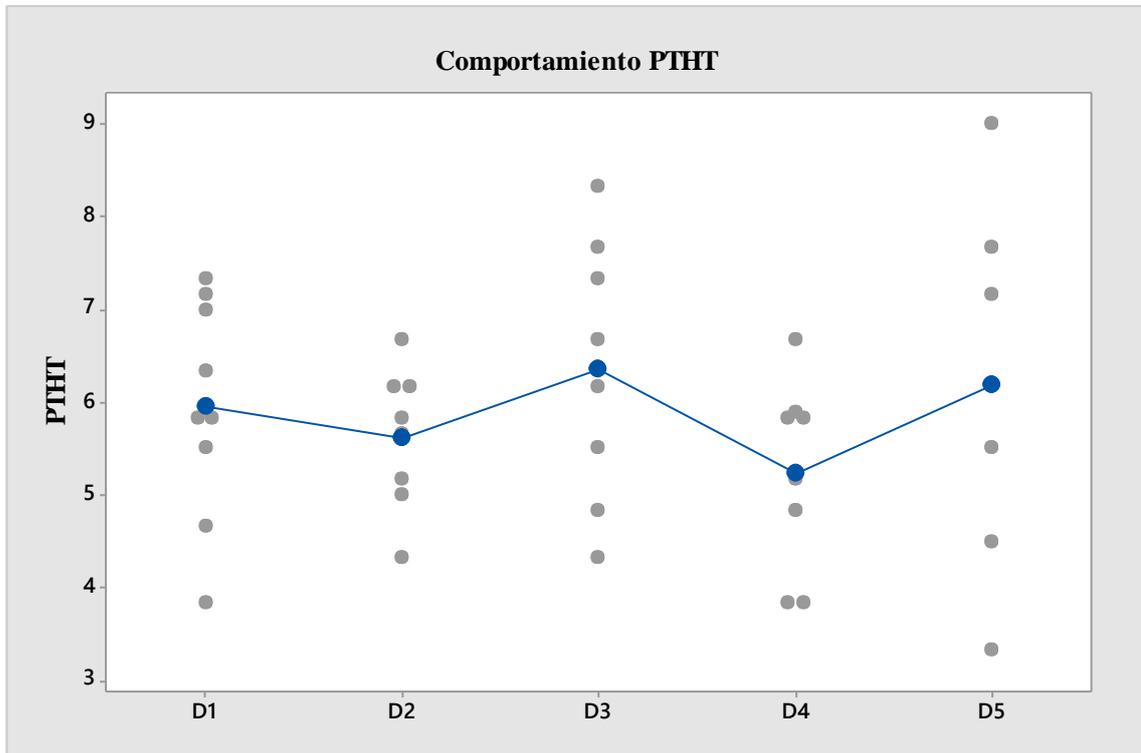


Gráfico 15-3. Comportamiento de PTHT

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La gráfica 15-3 muestra que, a una dosis absorbida de 4,321mGy (D3) el promedio del tamaño de las hojas trifoliadas es mayor; sin embargo, no podemos rechazar H_0 ya que su probabilidad es alta: 47,15%; en otras palabras, las medias del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas (PTHT) no son lo suficientemente significativas.

3.1.2.3. Tallo

La tabla 28-3 muestra una comparación entre las semillas control y las semillas irradiadas en cuanto a la dosis absorbida (D) y el promedio de longitud del tallo.

Variables:

Dosis Absorbida (mGy) → D

SC → semillas control

SI→ semillas irradiadas

NS → Número de semillas

NPE → Número de plantas emergentes

PLT→ Promedio de longitud del tallo

Tabla 28-3: Cambios fenotípicos presentes hasta la finalización de la etapa vegetativa, en el año 2021

Grupos	D(mGy)	NS	NPE	PLT
Control	0	18	6	9,416666667
10 min (1)	1,553723863	6	2	9
10 min (2)	1,408062251	6	4	10,625
10 min (3)	1,35950838	6	3	10,66666667
15 min (1)	2,330585795	6	2	8,75
15 min (2)	2,112093376	6	4	10,125
15 min (3)	2,03926257	6	2	8,5
30 min (1)	4,661171589	6	2	7,75
30 min (2)	4,224186753	6	3	12,66666667
30 min (3)	4,07852514	6	3	14,66666667
45 min (1)	6,991757384	6	2	12
45 min (2)	6,336280129	6	3	13,33333333
45 min (3)	6,117787711	6	3	8,333333333
60 min (1)	9,322343178	6	2	9,5
60 min (2)	8,448373505	6	2	10
60 min (3)	8,157050281	6	2	9
TOTAL SC	0	18	6	9,416666667
TOTAL SI	69,1407119	90	39	10,32777778
TOTAL	69,1407119	108	45	

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Promedio longitud del tallo:

La tabla 29-3 nos muestra un promedio por grupo de la longitud del tallo tanto para las semillas control como para las semillas irradiadas.

Tabla 29-3: Promedio longitud del tallo, en el año 2021

Nomenclatura	D (mGy)	PLT (cm)
D0	0	9,416666667
D1	1,440431498	10,27777778
D2	2,160647247	9,375
D3	4,321294494	12,1875
D4	6,481941741	11,125
D5	8,642588988	9,5

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

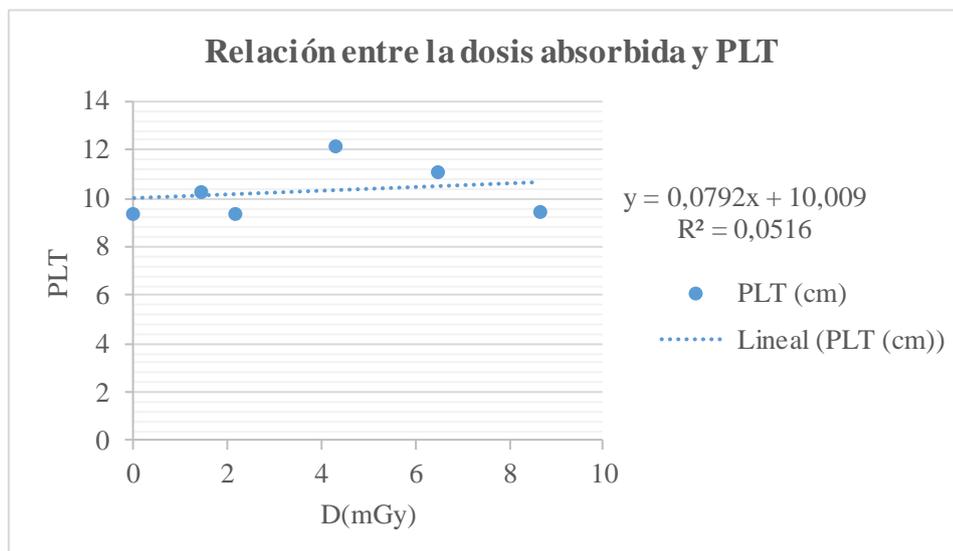


Gráfico 16-3. Diagrama de dispersión entre la dosis absorbida y el promedio de longitud del tallo

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

El gráfico 16-3 nos muestra que el mayor crecimiento de la planta hasta la finalización de su etapa vegetativa se da en el grupo que recibió una dosis absorbida de 4,321mGy, además se observa que el promedio de la longitud del tallo de las semillas irradiadas (PLT) para los grupos 10 (D1), 30 (D3), 45(D4), 60 (D5) minutos es mayor que el promedio de la longitud del tallo de las semillas control.

Planteamiento de la hipótesis

En la tabla 30-3 se detalla el planteamiento de la hipótesis para el análisis 2, específicamente para el promedio de la longitud del tallo (PLT); considerando que el nivel de significancia viene dado por $\alpha \rightarrow 0,05$.

Tabla 30-3: Hipótesis del promedio del tamaño de las hojas trifoliadas a diferentes dosis absorbidas, en el año 2021

Factor	Forma Estadística	Forma Verbal
Factor X (Dosis Absorbida)	H ₀ : Efecto de X=0	H ₀ : La dosis absorbida no influye sobre el promedio de la longitud del tallo.
	H ₁ : Efecto de X≠0	H ₁ : La dosis absorbida influye sobre el promedio de la longitud del tallo.

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Grados de libertad (DF):

k → Número de grupos

N → Número de sujetos

Entre grupos

$$DF = k - 1 \quad (7)$$

$$DF = 5 - 1$$

$$\mathbf{DF = 4}$$

Dentro de grupos

$$DF = N - k \quad (8)$$

$$DF = 39 - 5$$

$$\mathbf{DF = 34}$$

Totales

$$DF = N - 1 \quad (9)$$

$$\mathbf{DF = 38}$$

Suma de cuadrados (SS):

En la siguiente tabla 31-3 se observa los datos requeridos para la realización de la suma de cuadrados, donde n_i representa el número i -ésimo del grupo y S_i es la desviación estándar i -ésimo del grupo.

Tabla 31-3: Datos para la elaboración de la suma de cuadrados, en el año 2021

n_i	\bar{x}_i	\bar{x}	S_i	S_i^2
9	10,2777778	10,5384615	2,92736135	8,56944444
8	9,375	10,5384615	2,44584195	5,98214286
8	12,1875	10,5384615	3,29434038	10,8526786
8	11,125	10,5384615	3,44082631	11,8392857
6	9,5	10,5384615	2,66458252	7,1

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Entre grupos

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$SS_B = 42,41800214$$

Dentro de grupos

$$SS_w = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2 \quad (11)$$

$$SS_w = 304,7743056$$

Totales

$$SS_T = SS_B + SS_w \quad (12)$$

$$SS_T = 347,1923077$$

Cuadrado medio (MS):

Entre grupos

$$MS_B = \frac{SS_B}{(k-1)} \quad (13)$$

$$MS_B = 10,60450053$$

Dentro de grupos

$$MS_w = \frac{SS_w}{(N-1)} \quad (14)$$

$$MS_w = 8,963950163$$

Estadística F:

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (15)$$

$$F = 1,183016454$$

Valor p:

$$\text{Cola derecha de } F(k - 1, Nk) \quad (16)$$

La tabla 32-3 muestra los datos mencionados anteriormente para una mejor interpretación de los resultados de la prueba ANOVA.

Tabla 32-3: Resumen de ANOVA datos, en el año 2021

Resumen de ANOVA					
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad (DF)</i>	<i>Suma de cuadrados (SS)</i>	<i>Media cuadrática (MS)</i>	<i>Estadística F</i>	<i>Valor p</i>
<i>Entre grupos</i>	4	42,41800214	10,60450053	1,183016454	0,335786
<i>Dentro de grupos</i>	34	304,7743056	8,963950163		
<i>Total</i>	38	347,1923077			

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

En la tabla 32-3 se observa que el valor de p es 0,336 es decir $p > \alpha$ por lo cual se acepta H_0 , concluyendo así que la dosis absorbida no influye sobre el promedio de longitud del tallo. Es decir, la diferencia entre los promedios de longitud del tallo de todos los grupos no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativas.

En el siguiente gráfico 17-3 se establece el comportamiento del promedio de longitud del tallo con respecto a la dosis.

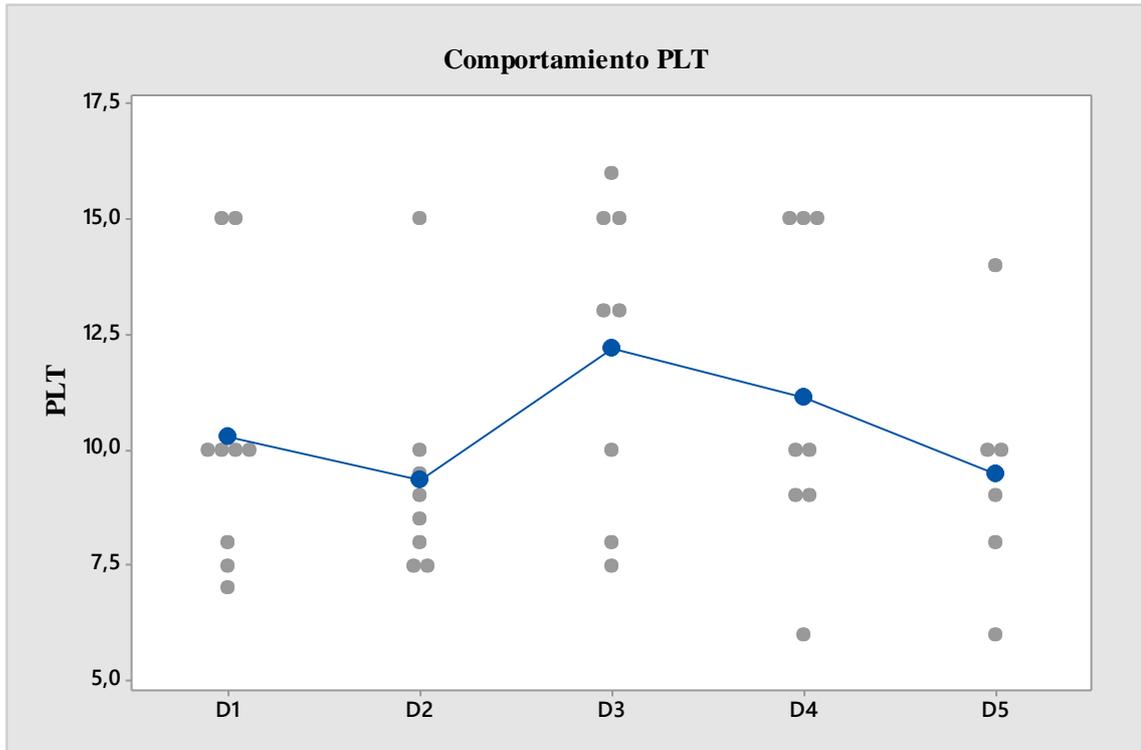


Gráfico 17-3. Comportamiento de PLT

Realizado por: Defaz E., Torres N. 2021.

La gráfica 17-3 muestra que, a una dosis absorbida de 4,321mGy (D3) el promedio de longitud del tallo es mayor; sin embargo, no podemos rechazar H_0 ya que su probabilidad es alta: 33,58%; es decir las medias del promedio de longitud del tallo (PLT) no son lo suficientemente significativas.

3.2. Ley del inverso al cuadrado

La tabla 33-3 nos muestra la tasa de exposición y tasa de dosis equivalente captada por el detector Ranger EXP a una distancia de 0,70cm en diferentes intervalos de tiempo.

Tabla 33-3: Promedio de los datos del detector Ranger EXP, en el año 2021

Grupo	Tiempo (h)	Exposición ($\mu\text{R/h}$) II	Dosis Equivalente ($\mu\text{Sv/h}$)
A	0,1667	444,3834	4,4574
B	0,1667	450,3096	4,4982
C	0,1667	434,2242	4,3554
A	0,25	462,0872	4,6172
B	0,25	441,2316	4,4132
C	0,25	424,0344	4,2364
A	0,5	393,7778	3,927
B	0,5	382,4932	3,825
C	0,5	373,6158	3,7298
A	0,75	372,3317333	3,7264
B	0,75	372,2410667	3,728666667
C	0,75	369,2264	3,6856
A	1	537,0283	5,3703
B	1	464,9704	4,6512
C	1	445,4782	4,4506

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

Razón por la cual se decidió calcular la tasa de exposición y la tasa de dosis equivalente recibidas a una distancia de 100cm (distancia de la fuente a la computadora), haciendo uso de la ecuación (5) mencionada en el capítulo I.

Tabla 34-3: Resultados de la aplicación de la ley del inverso al cuadrado, en el año 2021

Grupo	Tiempo (h)	Exposición ($\mu\text{R/h}$)I2	Dosis Equivalente ($\mu\text{Sv/h}$)
A	0,1667	9069048,98	90967,34694
B	0,1667	9189991,837	91800
C	0,1667	8861718,367	88885,71429
A	0,25	9430351,02	94228,57143
B	0,25	9004726,531	90065,30612
C	0,25	8653763,265	86457,14286
A	0,5	8036281,633	80142,85714
B	0,5	7805983,673	78061,22449
C	0,5	7624812,245	76118,36735
A	0,75	7598606,803	76048,97959
B	0,75	7596756,463	76095,2381
C	0,75	7535232,653	75216,32653
A	1	10959761,22	109597,9592
B	1	9489191,837	94922,44898
C	1	9091391,837	90828,57143
TOTAL	8,0001	129947618,4	1299436,054

Fuente: DEFAZ, TORRES, 2021.

Realizado por: Defaz, Esteban y Torres, Nadia, 2021.

La tabla 34-3 nos muestra la tasa de exposición resultante en los diferentes periodos de tiempo establecidos, obteniendo que en un total de 8 horas se recibió una tasa de exposición de 129,948R/h y una tasa de dosis equivalente de 1,2994Sv/h. Dosis que implica un riesgo ya que de acuerdo con la Asociación Nuclear Mundial se recomienda que la dosis adicional por encima del fondo natural y excluyendo la exposición médica se limite a los niveles prescritos. Estos son: 1mSv/año para los miembros del público y 20mSv/año como promedio durante cinco años para los trabajadores de radiación.

3.3. Discusión de Resultados

El tiempo si afecta a la dosis absorbida ya que en el primer estudio general denominado “Análisis comparativo entre grupos” se muestra el promedio por grupo de la dosis absorbida en mGy en cada intervalo de tiempo previamente establecido (10, 15, 30, 45 y 60 minutos). Se presenta un comportamiento creciente. Además, al calcular el coeficiente de determinación (R^2) se puede comprobar que la dosis absorbida se encuentra estrechamente relacionada con el tiempo, es decir la dosis absorbida por las semillas va aumentando con respecto al incremento del tiempo de exposición.

Ahora bien, un segundo estudio en el cual se realizó un análisis entre los subgrupos de un mismo grupo se puede observar que cada intervalo de tiempo está dividido en tres subgrupos

denominados A, B, C. Para todos los grupos se observa que las dosis absorbidas mayores predominan en el subgrupo A, seguidas por el subgrupo B y finalmente el subgrupo C deduciendo así que la regla de tres aplicada para la determinación del voltaje de los valores de 10, 15, 30 y 45 minutos dependen de la dispersión de los valores del voltaje obtenidos a partir del electrete en el intervalo de 60 minutos. Sin embargo, al calcular el coeficiente de determinación (R^2) se puede comprobar que la dosis absorbida por las semillas se encuentra relacionada con el tiempo de exposición de una manera ascendente.

Finalmente, el hecho de que al realizar la prueba de ANOVA para la comprobación de la hipótesis hayamos obtenido un valor de p menor al nivel de significancia propuesto nos indica que la dosis si depende del tiempo.

Tomando en consideración lo observado y analizado en los resultados de los tres estudios anteriormente expuestos podemos concluir que la dosis si varía con respecto al tiempo, a mayor tiempo mayor es la dosis recibida; nuestros resultados cumplen con lo estipulado por el Consejo Nacional de Seguridad Nuclear (CSN) (2013), donde se indica que el tiempo es directamente proporcional a la dosis recibida, es decir, si aumenta el tiempo, aumenta la dosis.

Las dosis que absorbieron las semillas irradiadas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) no provocaron cambios fenotípicos relevantes. Tomando en consideración el primer estudio que se basa en la comparación de los grupos con diferentes dosis y el grupo control observamos que para todos los cambios fenotípicos considerados: germinación, promedio de la longitud de la radícula, emergencia, promedio del tamaño de las hojas primarias, promedio del tamaño de las hojas trifoliadas y el tamaño de longitud del tallo no existe una diferencia significativa entre cada grupo, dado que las dosis solo alcanzaron niveles entre el intervalo de (1,440-8,643)mGy se considera que dicho intervalo de dosis no representa un valor considerable para presentarse cambios fenotípicos. Dado que la mayoría de los trabajos de investigación revisados y consultados consideran dosis iguales o mayores a 10Gy. Sin embargo, es importante mencionar que con dosis altas como 300 y 400Gy tampoco se presentan cambios en la germinación como lo mencionan los resultados obtenidos por Ellyfa et al., (2007), donde indican que al irradiar las semillas de frijol (*Phaseolus Vulgaris*), con dosis altas de 300 y 400Gy, no se presentan cambios en las semillas germinadas respecto a las de control.

De igual manera, si consideramos el segundo estudio en el cual se considera únicamente las semillas irradiadas se evidencia que los resultados obtenidos no muestran variaciones entre los grupos irradiados, por lo que se concluye que, los niveles de dosis con los que se irradió las semillas de frejol no son lo suficientemente significativos como para observar algún cambio fenotípico considerable.

Finalmente, si tomamos en cuenta la prueba de ANOVA realizado para la comprobación de la hipótesis concuerda con el hecho de que los cambios no presentan una variabilidad significativa. Razón por la cual podemos considerar que no existe una mutabilidad fenotípica ni genotípica

dado que de acuerdo con la doctora en bioquímica Ana Zita (2018) “El fenotipo depende del genotipo y adicionalmente puede ser influenciado por factores ambientales” (Zita, 2018). Es decir, al determinar el efecto fenotípico que tuvo la radiación en las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*), estamos comprobando la variabilidad genotípica generada por la fuente de uranio-238, en los intervalos de tiempo previamente establecidos.

CONCLUSIONES

- Se utilizó material radioactivo (Uranio-238) como fuente de radiación distribuido en una caja de Zinc en forma circular donde se ubicaron las semillas de frejol (*Phaseolus Vulgaris L.*) asegurándonos que la radiación que llegue a las semillas sea la misma para todas las direcciones.
- La dosis absorbida se determinó a partir del uso del electrete, obteniendo así que se genera una dosis absorbida media de 8,643mGy en 60 minutos, 6,482mGy en 45 minutos, 4,321mGy en 30 minutos, 2,161mGy en 15 minutos y 1,440mGy en 10 minutos. Observando claramente que a mayor tiempo de exposición la dosis absorbida por las semillas de frejol también incrementa (*Phaseolus Vulgaris L.*) va aumentando.
- En concordancia con los resultados de las pruebas de hipótesis utilizadas se obtuvo que los niveles de dosis de radiación ionizante generados por la fuente de Uranio-238 provocan cambios fenotípicos significativos por ende no existe un cambio genotípico relevante dado que estos dos caracteres se encuentran estrechamente relacionados, esto se debió al hecho de que las dosis recibidas por las semillas oscilan en un rango inferior a 10Gy.

RECOMENDACIONES

- Una mejor comprensión de la irradiación en los frejoles (*Phaseolus Vulgaris L.*) se podría obtener realizando las mediciones de los subgrupos de cada tiempo de exposición de manera simultánea, es decir contar con más equipos que se encuentre en óptimas condiciones.
- Se requiere la obtención de equipo para el laboratorio de técnicas nucleares, específicamente dosímetros personales, como medida de seguridad radiológica.
- Para una mejor visualización de los cambios fenotípicos de las semillas irradiadas se sugiere desarrollar su etapa de crecimiento dentro de un ambiente controlado, vivero. Además, se considera importante seguir con el estudio de las semillas hasta la finalización de su fase reproductiva y continuar con el estudio de las semillas hijas comprobando si existió un cambio genotípico.
- Se recomienda el uso apropiado de pruebas estadísticas de comprobación de las hipótesis.

GLOSARIO

Epicótilo: En botánica es la parte del eje del vástago que, en el embrión, se encuentra situado por encima de la inserción de los cotiledones. Es decir, se trata del entrenudo de la planta (Diccionario de botánica, 1982, p.69).

Quenching: También conocida como desactivación fluorescente hace referencia a cualquier transcurso que produzca una reducción o disminución en la intensidad de la fluorescencia emitida por una determinada sustancia (J. Chem.educ, 1990, p.67).

Subglabras: Glabro significa sin pelos glandulares en absoluto. Subglabro significa casi glabro, es decir con solo unos pocos pelos glandulares esparcidos (Glosario Botánico, 1999, p.1).

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, J. “Uranium-238”. *Idaho National Engineering Laboratory Lockheed Idaho Technologies Company Idaho Falls* [en línea], 1995, (U.S) 15(1), pp. 15. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/032/27032342.pdf?r=1&r=1

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA- Radiación Ionizante.* [en línea]. Septiembre, 1999. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en:

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs149.pdf?fbclid=IwAR2cUx-oAswaB6TBJYXVtfhJcL32c712QLliyYY9739aUI6K5uNu09FoFNA

ALCARAZ BAÑOS, M. *Detección de Radiación Ionizante.* [en línea]. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://webs.um.es/mab/miwiki/lib/exe/fetch.php?media=t4.pdf>

ÁLVAREZ ERAZO, Pablo Alejandro., & INIAP. Inducción de mutaciones utilizando rayos gamma en la variedad mejorada de arveja (*Pisum sativum* L.) INIAP 436 Liliana, para identificar genotipos resistentes a *Ascochyta* spp. [en línea] (Proyecto). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador. 2012. pp 1-3. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/858/1/iniapscP.A473i2011.pdf?fbclid=IwAR2leUFz8t0h5aKMSj6wkFiQPULBqB3C3Wg1b0KNKNhYFcG_jjLDJz3krBg

ANTÚNEZ-OCAMPO, O., et al. “Variabilidad Inducida en Caracteres Fisiológicos de *Physalis Peruviana* L. Mediante Rayos Gamma 60CO Aplicados a la Semilla”. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2017, (México) 40(2), pp. 211-217. [Consulta: 19 noviembre 2020]. ISSN 0187-7380. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61051413012&fbclid=IwAR3gou6iDlxGP17LXtqZYgsttAcnxofuMHPeiccIj5JNQDAmDBZBpa3wI7k>

ATILO CABRERA, C., & REYES CASTILLO, C. “Guía Técnica para el manejo de variedades de frijol”. *Ministerio de Agricultura y Ganadería* [en línea], 2008, (El Salvador), pp. 4-14. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf?fbclid=IwAR14nRA0ARJ2PwzRAot37d9WZurKJk46LBcuF8j8bnMUkEAd99TRvQ-PTg4>

ATTIX, H. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. Morlenbach-Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. ISBN-10: 0-471-01 146-0, pp. 26-34.

CARRILLO PAZ Y MIÑO, Francisco Ulises. Evaluación de la Resistencia a enfermedades y potencial agronómico de poblaciones de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) de Cotacachi y Saraguro. Cotacachi, Imbabura. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 2014. pp. 1-9. [Consulta: 2020-11-19]. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2864/1/T-UCE-0004-96.pdf?fbclid=IwAR2leUFz8t0h5aKMSj6wkFiQPULBqB3C3Wg1b0KNKNhYFcG_jjLDJz3krBg

CORRALES LEMA, R., et al. Radiación gamma para inducción de mutagénesis en pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] [En línea] (Proyecto). Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua, México. 2019. pp.1-8. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/2007-9621-au-29-e1847.pdf?fbclid=IwAR1iHDZ_UgPD-eDGvpI5JYI00-rm0Mc4h12lQ1hTfd7TSWHqoZJ-UCZL-SY

CSN CIEMAT. *Introducción a las Radiaciones Ionizantes. Naturaleza y Tipos de Radiación. Interacción de la Radiación con la Materia*. [en línea]. 2012. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1838994721_1672013134047.pdf?fbclid=IwAR0x-Xe5w0WyQJkhd_FKcydDZ5HATPQnzmo-ZVv_6cRg2oJ_WrKE095dqvo

CHILUIZA, V. Evaluación de los Efectos Biológicos Causados por Diferentes Dosis de Radiación en Sangre Periférica (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Física y Matemática. Riobamba (Ecuador). 2020. pp 53-54. [Consulta: 2020-12-17]. Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/14292/1/86T00095.pdf>

E-PERM. “Rad Elec Inc”. *System User’s Manual* [en línea], 1998, pp.7-11. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM_v3_3_1.pdf

FERNÁNDEZ, F. *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. [en línea]. Cali-Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. [Consulta: 21

noviembre 2020]. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/28093.pdf?fbclid=IwAR3FO5o-XGNcEFhWFIVwIJSEFdAMNkFor4xufJOrr01VX5y9adssAA5PvTg

GERVI. *Duplicación del gen* [blog]. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos67/duplicacion-gen/duplicacion-gen2.shtml>

HUMAN HEALTH FACT SHEET. *Uranium*. [en línea]. October, 2001. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/uranium.pdf>

INIAP. *INIAP 480 Rocha Nueva variedad de fréjol arbustivo de grano amarillo-canario-*. [en línea]. Quito: Mayo, 2009. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/304/4/iniapscbd352.pdf?fbclid=IwAR2leUFz8t0h5aKMSj6wkFiQPULBqB3C3Wg1b0KNKNhYFcG_jjLDJz3krBg

KOTRAPPA, P. “Electret Ion Chambers for Characterizing Indoor, Outdoor, Geologic and other Sources of Radon”. *“Nova Science Publishers, Inc.”* [en línea], 2015, pp.2-14. [Consulta: 21 noviembre 2020]. ISBN: 978-1-63463-742-8. Disponible en: https://www.radelec.com/publications/Kotrappa_ElectretIonChambersForCharacterizingRadon.pdf

KOTRAPPA, P. et al. “X and Gamma Dose Measurement using Electrets”. *“Radiation Protection Dosimetry”* [en línea], 1982, (India) 2 (3), pp.175-178. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/2/3/175/1596756?redirectedFrom=fulltext>

LBBC. *Inverse Square Law* [blog]. Oregón: 2016. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://openoregon.pressbooks.pub/radsafety130/chapter/inverse-square-law/>

MARTIRENA-RAMÍREZ, A., et al. “Respuesta in vitro de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar ‘Ica Pijao’ irradiadas con diferentes dosis de radiación Gamma”. *Biotecnología Vegetal* [en línea], 2015, (Cuba) 15(1), pp.10-14. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 2074-8647. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2015/vol15/no1/2.pdf?fbclid=IwAR0DA17JjdCWSPhKYIXjcdhrhRutXgncy0NUj4eboaSTowG02fZtADwZOi08>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. *Cifras Agroproductivas*. [en línea]. Quito: 2019. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>

MORENO GUADARRAMA, Andrea. Estudio Comparativo de Radiosensibilidad entre Razas Locales de Pseudocereales Nativos de México. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca, México. 2014. pp.16-19. [Consulta: 2020-11-21]. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/116/46116537.pdf

NAVARRO ALVAREZ, W. Variabilidad Genética Inducida por Irradiación de Semillas de Frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) Var. Delicias 71, con Rayos Gamma Co-60 y Cultivadas en Condiciones de Invernadero. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, División de Ciencias Agropecuarias y Marítima. Monterrey, México. 1978. pp.18-32. [Consulta: 2020-11-21]. Disponible en: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/569336/DocsTec_10059.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR13GjBShWV0g2XkV3c5VAypH_1MftGdFK76Q6jGxDwA8Ct2moTFwHvPmWs

RADIANSÁ. *Ranger-Exp* [blog]. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://tienda.radiansa.com/RANGER-EXP>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Diccionario de la lengua española-tiempo* [blog]. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/tiempo?m=form>

SALOMÓN DÍAZ, J., et al. “Comunicación Corta Efecto de los Rayos Gamma sobre la Germinación de la Semilla Botánica de Papa (*Solanum Tuberosum* L.)”. *Cultivos Tropicales* [en línea], 2017, (Cuba) 38(1), pp.89-90. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 1819-4087. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n1/ctr11117.pdf?fbclid=IwAR0G8nNCmhUFn138hyEiJzvM78-OvM7eiF2_FChS0tDTqUcCBEwFP4gF3Io

TANDAYAMO CHICAIZA, S. Comportamiento Agronómico y Reacción a Fitopatógenos de 28 Variedades Mezcla de Fréjol de Cotacachi. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 2016. pp.2-5. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en:

http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8327/1/T-UCE-0004-57.pdf?fbclid=IwAR0Y9ekCeG8LpbXA7cwMYsz_qvtpSzBml-J6vhDRfqr1KtjseQava8zy1VM

THE FREE DICTIONARY. *Dosis* [blog]. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://es.thefreedictionary.com/dosis>

ULLOA, J., et al. “El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fotoquímicos”. *Revista Fuente* [en línea], 2011, (México) 3(8), pp. 5-7. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 2007 -0713. Disponible en: http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/1.pdf?fbclid=IwAR17qmIINX4_lAJFxf1DYeSpnt8AJmmcpKxWH9M3hHx3F6XYZZjsRoc2yo

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. *Caracterización de un contador Geiger-Müller y determinación del tiempo muerto con fuentes β* . [en línea]. 17, 2016. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: https://master.us.es/fisicanuclear/images/stories/pdf/MasterFN2016_Boletin_GeigerMuller.pdf

VILLANUEVA RODRÍGUEZ, T. “El Uranio en Castilla y León”. *Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA)* [en línea], 2009, (España), pp.3-5. [Consulta: 21 noviembre 2020]. B-18057-2009. Disponible en: https://www.siemcalsa.com/images/pdf/El%20Uranio.pdf?fbclid=IwAR0Y9ekCeG8LpbXA7cwMYsz_qvtpSzBml-J6vhDRfqr1KtjseQava8zy1VM

VOYEST, O. *Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de variedades de América Latina 1930-1999*. [en línea]. Cali-Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2000. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54161?fbclid=IwAR13GjBShWV0g2XkV3c5VAypH_1MftGdFK76Q6jGxDwA8Ct2moTFwHvPmWs

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Occupational Safety in Uranium Mining* [blog]. Inglaterra: marzo, 2020. [Consulta: 21 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/occupational-safety-in-uranium-mining.aspx>

YÉPEZ GUDIÑO, E. Plan para la Comercialización y Exportación de Fréjol producido en el Sector del Valle del Chota y Pimampiro hacia el Mercado Colombiano. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica del Norte, Administración de Negocios. Ibarra,

Ecuador. 2011. pp. 1-5. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en:
http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1164/3/PG%20250.pdf?fbclid=IwAR2y0ULUvI22z3HGUqR3aSm9bTQgqnDyQUmUtF0UjK_ZPCQ4gS_1ZuqGHhw

Zita, A. “Genotipo y fenotipo”. *Revista científica* [en línea], 2018, (Venezuela). [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.diferenciador.com/genotipo-y-fenotipo/>

ANEXOS

ANEXO A: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE CALIBRACIONES DOSIMÉTRICAS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: CAL 2213 - 2020

SOLICITANTE:	GABRIELA BELEN UREÑA CALLAY (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO)			FECHA DE CALIBRACIÓN:		2020-12-09	
DIRECCIÓN:	PANAMERICANA SUR km 1 1/2						
INSTRUMENTO:	EQUIPO DIGITAL	Marca:	S.E. INTERNATIONAL	Modelo:	RANGER EXP	Serie:	04003
DETECTOR:	GEIGER MÜLLER	Marca:	S.E. INTERNATIONAL	Modelo:	RAP - R52	Serie:	08693

Condiciones ambientales durante la calibración:

Temperatura (°C): 19,9 Presión (mbar): 711,1 Humedad rel. (%): 60%

Instrumentos de Referencia:

Cámara de Ionización Marca - Modelo: PTW - PTW-32002 Serie No: 576
Electrómetro Marca - Modelo: PTW - UNIDOS Webline Serie No: 533

Revisión de Características del instrumento:

Chequeo Mecánico: OK
Chequeo Audio y/o Alarma: OK

Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:

Substracción de Background: SI
Se determinó Linealidad: SI
Fuentes de Calibración: OB6
Atenuadores (mm): 22.0,40,0
Rango en Escala Normal (X1): (0 - 1000) (uSv/h)

DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASA DE DOSIS EQUIVALENTE POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137

ESCALA	FUENTE DE CALIBRACION	TASA DE DOSIS EQUIVALENTE DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO	FACTOR DEL INSTRUMENTO Para incertidumbre k = 2
(0 - 1000) uSv/h	OB6	397.65 ± 4.80 uSv/h	389.76 uSv/h	1,02 ± 0,03

NOTA: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER OBLIGATORIAMENTE MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA DETERMINAR EL VALOR REAL

El Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas (LCD) del Ecuador, certifica que el instrumento ha sido calibrado bajo las normas y procedimientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), tomando como referencia el Reporte de Seguridad Serie 16: Calibración de Instrumentos para Monitoreo de Protección Radiológica.

Este certificado no puede ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.



ENRIQUE DAVID
AREVALO
BARRAGAN

Elaborado por: Dr. Carlos Cherréz
Fecha de Emisión: 2020-12-10

Revisado por.:

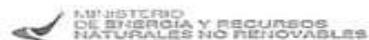
Ing. Enrique Arévalo
Responsable del laboratorio LCD

Aprobado por.: RUTH GRACIELA AYABACA CAZAR
Firmado digitalmente por RUTH GRACIELA AYABACA CAZAR Fecha: 2020.12.11 05:53:19 -0500

Ing. Ruth Ayabaca
Directora de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica

Dirección: Av. República de El Salvador N35-64 y Suecía, Quito - Ecuador
Casilla: 170505, Telf. 3976000 ext 2008 - 2028 - 2031
Email: enrique.arevalo@recursosyenergia.gob.ec

ANEXO B: CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE RADIOACTIVIDAD
 Juan Larrea 515 - 36 y Roldán
 Telf: 2238 438

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO
 Código de Laboratorio: ARAD-2019-632

La Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares perteneciente al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables realizó el Análisis de Contenido Radiactivo en muestra(s) de material de roca.

Cliente:
 Valeria Chiluiza

Fecha de ingreso a laboratorio: 9 de enero del 2019
 Muestreado por: VALERIA CHILUIZA
 Fecha de muestreo:

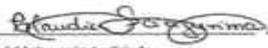
Riobamba-Ecuador

**RADIONÚCLIDOS DETERMINADOS EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD
 E INCERTIDUMBRE ASOCIADA**

CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		ACTIVIDAD DE LA MUESTRA									
	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Bi-214 Bq/g	Pb-214 Bq/g	Ra-226 Bq/g	Rn-222 Bq/g	Ac-228 Bq/g	Pb-212 Bq/g	Th-232 Bq/g	U-235 Bq/g	U-238 Bq/g	Pb-210 Bq/g
ARAD-2019-632.01	Muestra 1	Roca	10400±0.06	9700±0.08	15000±0.03	7500±0.05	260±0.02	560±0.05	13000±0.02	670±0.01	1800000±0.03	5700±0.01
Fecha de Análisis Instrumental: 30 de enero de 2019												

Técnica de medición empleada para el análisis de la muestra: Determinación de radionúclidos emisores gamma por espectrometría gamma.

Los valores reportados seguidamente del signo "<" corresponden a la Actividad Mínima Detectable (AMD) calculada para un 95 % de confianza. Para estos valores no se calcula ni reporta incertidumbre expandida. Nivel máximo permisible (1 Bq/g) para cadenas de desintegración de Uranio, Torio y (10 Bq/g) para K-40; según niveles para NORM recomendados en las Normas Básicas de Seguridad del OIEA (GSR Parte 3).

Ing. Claudia Sangarima 
 Responsable del Laboratorio Análisis de Radioactividad

Dado en Quito, el 30 de enero de 2019

Los resultados que aparecen en este certificado se refieren solamente a las muestras objeto de ensayo.
 Este informe no será reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Av. República de El Salvador N36-64 y Suecía
 Telf.: (593) 397-6000
 Quito-Ecuador
 Director: bernardo.torres@recursosyenergia.gob.ec

ANEXO C: FOTOGRAFÍAS DEL TIC



Control de los niveles de radiación en el aula después de la irradiación.



Germinación de las semillas.



Parcela cultivada.



Colocación del electrete en el lector.



Frejol finalización de su etapa vegetativa.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

*DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 /09 /2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Esteban Joao Defaz Mejía Nadia Vanessa Torres Narváez</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Física</i>
Título a optar: <i>Físico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD
DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE,
l=QUITO, serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.09.13 16:18:03 -05'00'



1780-DBRA-UTP-2021