

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



TRABAJO DIRIGIDO

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA IRRADIACIÓN CON RAYOS GAMMA
(COBALTO-60) EN TRES LINEAS DE CAÑAHUA (*Chenopodium
pallidicaule* Aellen) EN LA PROVINCIA INGAVI – LA PAZ**

DONATO VICTOR LLANOS MACHACA

LA PAZ – BOLIVIA

2013

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA IRRADIACIÓN CON RAYOS GAMMA (COBALTO-60) EN TRES LINEAS DE CAÑAHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) EN LA PROVINCIA INGAVI – LA PAZ

*Trabajo dirigido presentado como requisito
parcial para optar al Títulode
Ingeniero Agrónomo*

DONATO VICTOR LLANOS MACHACA

Asesor:

Ph.D. Victor Hugo Mendoza Condori

.....

Tribunal Examinador:

Ing. Héctor Cortéz Quispe

.....

Ing. Néstor Chambi Vargas

.....

Aprobada

Presidente tribunal examinador

.....

2013

DEDICATORIA

A Dios, a la Vida y a todos mis seres amados, especialmente a mi esposa Sonia Cristina por brindarme su amor y comprensión, y a mis hijos; Gabriel Edgard y Avril Alejandra que son mi razón de vivir y me dan fuerzas para seguir adelante.

A la memoria de mis padres; Donato (†) e Isabel (†) ejemplo de amor, superación y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Quiero comenzar agradeciendo a Dios por ser tan generoso conmigo al darme vida, salud y conocimiento para poder encarar este camino.
- ✓ A la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés por mi formación profesional, al plantel docente y administrativo.
- ✓ Al “Centro de Investigaciones Nucleares” (CIN – Viacha), dependiente del “Instituto Boliviano de Ciencia y tecnología Nuclear” (IBTEN), por haberme acogido en sus predios para la realización de este trabajo.
- ✓ Al Hospital General, Unidad de Radio-Terapia, por facilitar el equipo de la Bomba de Cobalto-60 y al Lic. Fis. Marcos Manríquez por su apoyo en el proceso de la irradiación del material genético.
- ✓ Al “Programa Granos Andinos” (PROGRANO) de la Facultad de Agronomía, especialmente al Ing. M.Sc. Félix Mamani R. por facilitarme las semillas de cañahua.
- ✓ A mi asesor, el Ing. Ph.D Víctor Hugo Mendoza Condori, por el desinteresado apoyo para la culminación de esta investigación.
- ✓ A los ingenieros Néstor Chambi Vargas. y Héctor Cortez Quispe, por sus aportes y su colaboración en la revisión y corrección de este documento.
- ✓ A un amigo muy especial Ing. Alejandro L. Romero M. por estar en los momentos difíciles y brindarme todo su apoyo en la elaboración de este trabajo. De la misma forma al Ing. M.Sc. Juan José Vicente Rojas por el apoyo en la parte estadística.
- ✓ Así también a mis hermanos: Rodolfo (†), Hilda (†), Mercedes, Edgar (†), Julio, Lucio y a toda mi familia que estuvieron presentes cuando más se les necesitaba.
- ✓ A todos los amigos dentro y fuera de la Facultad, que directa e indirectamente me apoyaron en forma moral para mi formación como ser humano y profesional.

CONTENIDO

RESUMEN	10
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación	14
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
Metas.	15
I. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Contexto normativo.....	16
2.2 Marco Conceptual.....	17
2.2.1 Importancia de la cañahua	17
2.2.1.1 Valor nutricional	18
2.2.1.2 Principales usos de la cañahua	20
2.2.2 Aspectos botánicos de la cañahua.....	21
2.2.2.1 Origen de la cañahua.....	21
2.2.2.2 Posición taxonómica	22
2.2.2.3 Características generales y descriptivas del cultivo	22
Raíz.....	23
Tallo.....	23
Línea lasta	23
Línea Saihua.....	24
Hojas	25
Inflorescencia	25
Fruto	26
Semilla.....	26
2.2.3 Fases fenológicas.....	26
2.2.4 Plagas y enfermedades.....	27
2.2.5 Ambiente protegido	28
2.2.6 Mutaciones.	28
2.2.6.1 Mutaciones inducidas.....	29
2.2.6.2 Mutaciones físicas.....	30
2.2.6.3 Mutaciones químicas	31
2.2.7 Aplicación de mutaciones.....	32

2.2.8	Mecanismos biológicos que generan variación y alteran la constitución genética de las plantas.	33
2.2.9	Dosis de absorción y dosis permitidas	34
2.2.9.1	Dosis absorbida	34
2.2.9.2	Dosis efectiva	34
2.2.9.3	Dosis de irradiación permitidas	34
2.2.10	Efectos genéticos	35
2.2.10.1	Dosis letal media	35
2.2.11	Experiencias en la obtención de genotipos por mutación con Cobalto 60 en la agricultura	36
III.	SECCIÓN DIAGNÓSTICA	39
3.1	Materiales y métodos	39
3.1.1	Localización y ubicación	39
3.1.2	Características del lugar	39
3.1.3	Materiales	40
3.1.4	Metodología	40
3.1.4.1	Fase 1. Ensayos en laboratorio (dosimetría)	40
	Pruebas de germinación de la semilla (antes de la irradiación)	40
	Evaluación de granos con o sin perigonio para determinar el porcentaje de germinación y el desarrollo de las plántulas en el tiempo.	41
	Pruebas de irradiación y germinación de semillas	41
3.1.4.2	Fase 2. Etapa de campo	45
a)	Irradiación del material genético	45
b)	Diseño experimental	46
c)	Siembra en ambiente protegido de las semillas irradiadas y seguimiento	49
3.1.4.3	Variables de respuesta	52
	Porcentaje de sobrevivencia	52
	Altura de planta	52
	Numero de ramificaciones	52
	Peso de planta (g)	52
	Peso de broza (g)	52
	Peso de grano por planta después de la cosecha (g)	52
	Numero de granos caídos por planta antes de la cosecha	52
	Identificación de plantas con características morfológicas diferentes	53
3.1.4.4	Procesamiento del análisis de datos	54
IV.	SECCIÓN PROPOSITIVA	55
4.1.	Análisis de resultados	55

4.1.1 Fase I. Ensayos de laboratorio (dosimetría)	55
4.1.1.1 Prueba de viabilidad de la semilla	55
Medición de la altura de planta durante el proceso de germinación	56
Medición de la longitud de la raíz durante el proceso de germinación	57
Medición del peso de la planta después del proceso de germinación	58
4.1.1.2 Pruebas para la obtención de la Dosis Letal Media DL 50	59
Primera prueba. Germinación en cajas petri y tubos de ensayo	59
Primer ensayo para determinar la DL50 en semillas sometidas a una irradiación de 30, 45 y 60 (Grey) en cajas petri.....	60
Segundo ensayo para determinar la DL50 en semillas sometidas a una irradiación de 30, 45 y 60 (Grey) en tubos de ensayo.	62
Segunda prueba. Germinación en tubos de ensayo para determinar la DL 50 con dosis de irradiación (cobalto 60) de 0, 50, 100 y 150 Gy	65
Tercera prueba. Germinación en tubos de ensayo para determinar la DL 50 con dosis de irradiación (cobalto 60) de 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 Gy	66
4.1.2 Fase II. Evaluación agronómica en ambiente protegido	69
4.1.2.1 Porcentaje de sobrevivencia de las semillas irradiadas a diferentes niveles de irradiación en las tres líneas de cañahua a los 44 días	70
4.1.2.2 Altura de planta	72
4.1.2.3 Peso de planta	78
4.1.2.4 Número de ramificaciones	83
4.1.2.5 Peso de broza	87
4.1.2.6 Peso de grano	92
4.1.2.7 Número de granos caídos por planta antes de la cosecha	97
4.1.2.8 Identificación de plantas con características morfológicas diferentes	103
Altura de planta	103
Tallo	104
Hojas	105
Inflorescencia	107
Protección de los granos	108
V. SECCIÓN CONCLUSIVA	110
5.1 Conclusiones	110
5.2 Recomendaciones	111
VI. BIBLIOGRAFÍA	112

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Valor nutritivo de la cañahua y diversos cultivos expresados en (%).....	18
Cuadro 2: Composición química y valor nutricional de la cañahua (por 100 gramos de porción comestible).....	19
Cuadro 3: Contenido de aminoácidos esenciales en tres líneas de cañahua.....	20
Cuadro 4: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua	42
Cuadro 5: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua	44
Cuadro 6: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua	44
Cuadro 7: Dosis y tiempo de irradiación a las que fueron sometidas las semillas de las tres líneas de cañahua.	45
Cuadro 8: Tratamientos y combinación de los factores de estudio para determinar el efecto de diferentes dosis de irradiación en las líneas de cañahua.	47
Cuadro 9: Porcentaje de viabilidad de semilla de las tres líneas de cañahua (Lasta rosada, anaranjada, rosada) a 15 horas de evaluación.	56
Cuadro 10: Porcentaje de germinación en granos con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua	56
Cuadro 11: Altura de planta en tres líneas de cañahua durante la etapa de germinación	57
Cuadro 12: Longitud de raíz en tres líneas de cañahua durante la etapa de germinación	58
Cuadro 13: Peso de planta después de la etapa de germinación.....	59
Cuadro 14: Cantidad de semillas germinadas a diferentes dosis de irradiación en las tres líneas de cañahua para encontrar la (DL 50).	60
Cuadro 15: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL 50 en mm.....	61
Cuadro 16: Longitud de raíz (hasta las primeras hojas) para encontrar la DL 50 en mm.....	61
Cuadro 17: Porcentaje de germinación en semillas irradiadas a 30, 45 y 60 Gy....	62

Cuadro 18: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50 en mm	63
Cuadro 19: Longitud de raíz hasta las primeras hojas para encontrar la DL50	64
Cuadro 20: Peso de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50	64
Cuadro 21: Prueba de germinación para encontrar la DL50 con dosis de 0, 50, 100 y 150 Gy	66
Cuadro 22: Prueba de germinación para encontrar la DL50 con dosis nueve dosis de irradiación	67
Cuadro 23: Porcentaje de sobrevivencia a los 44 días con nueve dosis de irradiación en las tres líneas de cañahua.....	70
Cuadro 24: Análisis de varianza para la altura de planta.....	72
Cuadro 25: Prueba de Duncan para comparar la altura de planta en función a las dosis de irradiación con cobalto 60 (Co60), en el momento de cosecha.....	73
Cuadro 26: Prueba de Duncan comparar altura de planta en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.	75
Cuadro 27: Análisis de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación en la altura de planta.....	76
Cuadro 28: Análisis de varianza para peso de planta (g)	79
Cuadro 29: Prueba de Duncan para comparar el peso de planta (materia seca) en función a las dosis de irradiación en el momento de la cosecha.	79
Cuadro 30: Prueba de Duncan para comparar peso de planta en función a las líneas de cañahua	80
Cuadro 31: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación en peso de planta.	81
Cuadro 32: Análisis de varianza para número de ramificaciones	83
Cuadro 33: Prueba de Duncan para comparar el número de ramificaciones de planta en función a las dosis de irradiación en el momento de cosecha.	84
Cuadro 34: Prueba de Duncan para comparar número de ramificaciones en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.	85
Cuadro 35: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para número de ramificaciones.	86

Cuadro 36: Análisis de varianza para peso de broza (g)	87
Cuadro 37: Prueba de Duncan para comparar peso de broza de planta en función a las dosis de irradiación	88
Cuadro 38: Prueba de Duncan para comparar peso de broza en función a las líneas de cañahua.....	89
Cuadro 39: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para peso de broza.....	91
Cuadro 40: Análisis de varianza para peso de grano (g).....	92
Cuadro 41: Prueba de Duncan para comparar peso de grano de planta en función a las dosis de irradiación, en el momento de cosecha.	93
Cuadro 42: Prueba de Duncan para comparar peso de grano en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.	94
Cuadro 43: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para peso de grano.	95
Cuadro 44: Análisis de varianza para número de granos caídos de planta.....	97
Cuadro 45: Transformación logarítmica para conteo de número de granos caídos de planta.....	97
Cuadro 46: Prueba de Duncan para comparar el número de granos caídos por planta función a las dosis de irradiación antes de la cosecha.	98
Cuadro 47: Prueba de Duncan para comparar el número de granos caídos por planta en función a las líneas de cañahua.....	99
Cuadro 48: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción Líneas de cañahua y Dosis de irradiación para el número de granos caídos de planta.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Distribución de los cultivos de cañahua a lo largo de la región del altiplano (3200 a 4200 msnm).....	22
Figura 2: Estructura de las líneas Saihua (izq) y Lasta (der)	25
Figura 3. Partículas alfa de los materiales radiactivos son detenidas.....	31
Figura 4: Ubicación del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN – Viacha), IBTEN.	39
Figura 5. Croquis del experimento.....	48
Figura 6: Flujo grama de la investigación realizada.....	54
Figura 7: Altura de planta con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua	57
Figura 8. Longitud radicular en semillas con y sin perigonio de tres líneas de cañahua.....	58
Figura 9: Peso de planta con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua.	59
Figura 10: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50	61
Figura 11: Longitud de raíz (hasta las primeras hojas) para encontrar la DL50.	62
Figura 12: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50	63
Figura 13: Longitud de raíz hasta las primeras hojas para encontrar la DL50.....	64
Figura 14: Peso de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50	65
Figura 15: Altura de planta respecto a las dosis de irradiación.....	74
Figura 16: Comportamiento de la altura de planta con respecto a las líneas de cañahua	76
Figura 17: Interacción de Dosis de irradiación y Líneas de cañahua sobre la altura de la planta.	77
Figura 18. Peso de planta de cañahua con respecto a las dosis de irradiación.	80
Figura 19: Peso de planta con respecto a las líneas de cañahua.....	81
Figura 20: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para la variable peso de planta.	82
Figura 21: Número de ramificaciones con respecto a las dosis de irradiación.	84
Figura 22: Número de ramificaciones con respecto a las líneas de cañahua.....	85
Figura 23: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua respecto al número de ramificaciones por planta.....	86

Figura 24: Peso de broza con respecto a las dosis de irradiación.....	89
Figura 25. Comportamiento de peso broza de planta con respecto a las Líneas de cañahua.	90
Figura 26: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para peso de broza.....	91
Figura 27: Peso de grano con respecto a las dosis de irradiación.....	93
Figura 28: Comportamiento de peso de grano de planta con respecto a las líneas de cañahua.	95
Figura 29. Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para peso de grano por planta.....	96
Figura 30: conteo de número de granos caídos de planta con respecto a las dosis de irradiación.	99
Figura 31: conteo de número de granos caídos de planta con respecto a las dosis de irradiación.	100
Figura 32: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para conteo de número de granos caídos de planta.	102

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Evaluación de las plantas de cañahua en los tubos de ensayo	43
Fotografía 2: Disposición de las macetas en el walipini.....	49
Fotografía 3: Plantas con alturas diferentes.	65
Fotografía 4: Coloración rojiza en el tallo y hojas de algunas plantas de la línea Saihua rosada durante la emergencia	69
Fotografía 5: Deshidratación en plantas de la línea Lasta anaranjada	70
Fotografía 6: Altura de planta en la línea Saihua rosada.....	73
Fotografía 7: Plantas enanas de la línea Saihua rosada a 60 Gy.....	103
Fotografía 8: Plantas con pocas ramificaciones (izq. vista aérea; der. vista frontal)	104
Fotografía 9: Tallos unidos en plantas alcanzando la madurez fisiológica	104
Fotografía 10: Tallos unidos en plantas ya cosechadas y deshidratadas a 60 Gy en la línea lasta anaranjada.....	105
Fotografía 11: hojas enanas y gruesas en la línea Saihua rosada	105
Fotografía 12: Hojas enanas y ovaladas en la línea	106
Fotografía 13: Manchas en el haz como en el envés de las hojas de Saihua rosada	106
Fotografía 14: Coloración de las nervaduras en el haz y envés a 180 Gy en la línea lasta anaranjada	107
Fotografía 15: Malformación en la inflorescencia (solo se presenta una flor)	107
Fotografía 16: Hojas envolviendo la inflorescencia en la línea lasta anaranjada a 180 Gy	108
Fotografía 17: Hojas envolviendo la inflorescencia en la línea lasta anaranjada a 180 Gy	109

RESUMEN

La cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen), es uno de los granos más importantes de la zona andina de Bolivia por sus generosas propiedades nutritivas, culinarias, además de poseer cualidades altamente favorables de adaptabilidad y resistencia natural a factores ambientales adversos. Sin embargo, es muy poco cultivada por presentar dificultades en la manipulación del cultivo, por presentar una maduración gradual que genera un desgrane (pre cosecha) con la consecuente baja en el rendimiento hasta de un 50%. Así mismo, también influye en dicha pérdida, el tamaño reducido de los granos (diámetro de 0,8 a 1,4 mm) que dificulta la separación de las impurezas y su manipulación.

Se ha considerado que es importante realizar investigaciones, cuya finalidad sea mejorar las características de productividad de la cañahua, teniendo necesidad de realizar trabajos combinados con el uso de técnicas nucleares (inducción mediante la irradiación con cobalto 60) que permitan incrementar las posibilidades de mejoramiento de esta especie.

La aplicación de esta técnica fue realizada en semillas de cañahua de tres líneas (lasta rosada, lasta anaranjada y Saihua rosada), a objeto de evaluar su respuesta a ocho dosis de irradiación con cobalto 60. El estudio se realizó en dos fases, la primera con ensayos en laboratorio (Dosimetría) y la segunda con la evaluación agronómica en campo.

En la primera fase, se evaluó la viabilidad de las semillas de las tres líneas, la cual alcanzó el 96.6%. También se pudo evidenciar que las semillas con y sin perigonio influyen en el tiempo de germinación, obteniéndose mayor crecimiento en las segundas. Se realizaron una primera prueba con irradiaciones en las semillas de cañahua, a niveles de: 30, 45 y 60 Gray (Gy) en cajas Petri y en tubos de ensayo con un medio de cultivo MS. Con este tratamiento no se pudo encontrar la Dosis Letal Media (DL 50), por lo que se optó probar otras dosis como ser: 50, 100 y 150

(Gy), la que fue denominada segunda prueba, y 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 (Gy) como última prueba. El promedio de germinación fue del 77.7 %. Por lo que no se pudo determinar la DL50.

Al tener éxito en la determinación del DL50 durante la primera fase, se tomó la iniciativa de evaluar las dosis de la última prueba en las tres líneas de cañahua en campo. Las ocho dosis de Cobalto 60 (rayos gamma) más un testigo fueron denominadas Factor A, mientras que las tres líneas el Factor B. Éstas fueron sembradas en ambiente protegido (walipini) y en macetas de polietileno.

Se realizaron pruebas de caída de granos en el momento de la maduración de las plantas antes de la cosecha, labores realizadas mecánicamente por medio del golpe, determinando la cantidad caída de la semilla, además de la identificación de plantas con características morfológicas diferentes. Dentro de estas características, se pudo apreciar en el tallo malformaciones como ser: dos tallos unidos o fusionados y otros de forma rastrera; algunas hojas se formaron con el borde liso, otros en cambio presentaron cinco puntas y además, se observó un alargamiento y coloración de las mismas; en la inflorescencia se observó plantas con un solo estambre separado del resto de las demás flores.

La dosis de 60 Gy mostró efectos favorables sobre el crecimiento de la planta, mientras que la línea Saihua rosada es la que mejor comportamiento tuvo en su crecimiento. Así mismo, con la dosis 60 Gy se obtuvo la menor caída de granos, significativamente inferior a los demás tratamientos.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En el altiplano boliviano existen factores climáticos adversos, entre ellos las heladas, sequías y otros cuyas consecuencias repercuten directamente en la producción agrícola. El cambio climático es un factor adicional que a nivel mundial está ocasionando diferentes problemas en la seguridad alimentaria, haciéndose necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para la producción agrícola.

En la región andina existen cultivos estratégicos que pueden ser aprovechados por su importancia alimentaria, entre estos, la quinua (*Chenopodium quinoa*, Wild), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen), y otros que poseen un alto valor nutritivo.

En la antigüedad, la cañahua fue uno de los cultivos principales sobre la cual se desarrollaron muchas culturas. Actualmente, a pesar del desconocimiento de mucha gente, estos granos están generando diversas posibilidades económicas, debido a una demanda creciente, cuyos consumidores la han empezado a valorar considerando sus generosas propiedades nutritivas y culinarias.

La cañahua posee un alto grado de adaptabilidad, pudiendo cultivarse a una altura de 3500 msnm y teniendo una resistencia notable a las condiciones climáticas como la helada, sequía y enfermedades. Los granos contienen proteína en un 15.23 % en comparación con la quinua de 14.5 % (Mamani, 2003) con la posibilidad de que existan ecotipos de mayor contenido en proteínas.

Sin embargo, los productores tienen serias limitaciones para una producción adecuada de este cultivo. Factores como la aptitud de los suelos, la disponibilidad de semilla y prácticas de manejo ineficientes, hacen que se tenga rendimientos muy reducidos.

Otros factores importantes que desincentivan su cultivo, es su maduración gradual que repercute directamente en un bajo rendimiento, mientras que el tamaño reducido de los granos (diámetro de 0,8 a 1,4 mm) dificulta su manipulación (Marín, 2002).

Ante este panorama, en varios países se han desarrollado prácticas de inducción a la mutación por medio de irradiaciones, que exponen un amplio rango de dosis al material genético bajo condiciones ambientales controladas, las cuales permiten obtener plantas mejoradas y precoces, o plantas de tallo largo y corto, hojas de mayor longitud, cambios de coloración en flores, resistencia a plagas y enfermedades, etc. (FAO, 1988).

Así mismo, algunos estudios de la FAO (1988), afirman que la irradiación no supone ningún riesgo para la salud del consumidor, evita intoxicaciones y limita el uso de conservantes químicos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) respaldan esta técnica, porque se abre una vía fácil y efectiva a la conservación de los alimentos, especialmente en el Tercer Mundo.

La irradiación de alimentos presenta hoy dos ventajas: la reducción de pérdidas de alimentos tras la recolección y la mejora de su calidad sanitaria. Según IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2013), el empleo de la inducción de mutaciones puede contribuir a la domesticación de las especies nativas paso a paso, como sucede en la naturaleza, pero en forma más acelerada y dirigida. La inducción de mutaciones mediante el uso de rayos gamma puede alterar cualquier gen y por lo tanto es un mecanismo adecuado para cualquier propósito de mejoramiento de estas especies.

La inducción de mutaciones en el mejoramiento genético de los cultivos, es una técnica bien establecida para suplementar la variabilidad genética existente en el

germoplasma. En los últimos años se ha avanzado mucho en este campo y cientos de mutantes han sido liberados como nuevos cultivares. En arroz, Micke *et al.* (1990) mencionados por Suárez (2006), reportaron la liberación, hasta ese momento, de 251 nuevas variedades de arroz, desarrolladas con el uso de las mutaciones inducidas. Otros investigadores como Fundora *et al.*, (1987), obtuvieron variabilidad genética en soya (*Glycinemax* L. Merr) en caracteres de importancia agronómica con la misma técnica. Infante e Isidró (1987) lograron resultados satisfactorios igualmente en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorando el rendimiento.

En Bolivia, se realizaron trabajos con irradiación de cobalto-60 en papa (*Solanum tuberosum*, spp Andigenum) (Arizaca, 2003) y alfa alfa (*Medicago sativa* L.) (Noriega, 1998), ambos en la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). En el primer caso, el objetivo fue obtener tolerancia a la salinidad de los suelos y, en el segundo, buscar resistencia a enfermedades que afectan dicha especie, obteniendo buenos resultados en ambas investigaciones.

1.2 Justificación

Por lo expuesto anteriormente, se consideró importante realizar estudios que posibiliten el mejoramiento de especies agrícolas en su productividad y rendimiento. Es así que este ensayo tuvo el objetivo de contribuir al conocimiento mediante la evaluación de tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) sometidas a la irradiación con cobalto 60 para incrementar las posibilidades de obtención de “genotipos mutantes” con características agronómicas deseables que mejoren su producción.

Este ensayo fue realizado en predios del Instituto boliviano de tecnología nuclear (IBTEN) situado en la localidad de Viacha en la Provincia Ingavi del departamento de La Paz.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de los rayos gamma (Co-60) en tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) para establecer la dosis óptima de irradiación en el inicio de programas de mejora por inducción de mutaciones.

Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la dosis letal media (DL 50) por efecto de la irradiación con cobalto 60 (rayos gamma) en tres líneas de cañahua.
- ✓ Evaluar el efecto de ocho dosis de irradiación gamma en tres líneas de cañahua en el proceso de germinación.
- ✓ Evaluar el efecto morfológico de ocho dosis de irradiación gamma en tres líneas de cañahua durante la madurez fisiológica bajo ambiente protegido.

Metas.

Con este ensayo se pretende contribuir al conocimiento mediante la evaluación de tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) sometidas a la irradiación con cobalto 60 para determinar las posibilidades de obtención de “genotipos mutantes” con características agronómicas deseables.

I. MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto normativo

La normativa para un adecuado uso de las radiaciones ionizantes, en los diversos campos donde se aplica, ya sea en la agricultura, industria, salud e investigación, toma en cuenta los riesgos que implica el uso de las fuentes de radiación ionizante.

Es importante señalar que debe estar a cargo de una organización competente, en este caso, la Autoridad Nacional Competente (ANC) creada el año de 1960 la cual crea a su vez la Comisión Boliviana de Energía Nuclear (COBOEN), en julio de 1983. La COBOEN se reestructura con la creación del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), el cual es ratificado como Autoridad Nacional Competente en el campo de las radiaciones ionizantes, la cual esta legislada en el año 1982 mediante Decreto Ley No 19172, que aprueba la LEY DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN RADIOLOGICA, en todo el Estado Plurinacional de Bolivia.

En fecha 29 de enero de 1997, fueron aprobados mediante decreto Supremo No 24483, 11 reglamentos, un título, 24 capítulos, 178 artículos y 4 nexos, para la Ley de Protección Radiológica, entre las cuales están: Registro de Fuentes, Normas básicas de protección radiológica, licencias y autorizaciones, dosimetría personal, sanciones , entre otros.

Otras normativas vigentes fueron creadas por el entonces Ministerio de Industria y Comercio, mediante Resolución Ministerial, a través de la Dirección General de Normas y Tecnología (hoy IBNORCA). Se aprobaron las siguientes normas: Protección radiológica, inspecciones a instalaciones con fuentes de radiación, seguridad radiológica en las instalaciones, descontaminación de superficies y tratamiento de los desechos radiactivos, transporte del material radiactivo, símbolo

fundamental de las radiaciones ionizantes, etc., para mencionar entre los principales (IBTEN, 1998).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Importancia de la cañahua

La FAO (1992), indica, que el cultivo de cañahua tiene una gran importancia en el altiplano peruano y boliviano, donde se cultiva a diferentes altitudes que oscilan entre 3.800 y 4.300 msnm, siendo el cultivo muy resistente al frío en sus diferentes fases fenológicas.

En la actualidad, su cultivo y utilización se mantienen a niveles de autoconsumo en estas regiones, ya que, una de las causas de su auto marginación, es la elevada cantidad de mano de obra requerida para su cosecha y el tamaño pequeño del grano que dificulta su manejo.

Así mismo, la cañahua es conocida con diferentes nombres comunes: enQuechua: kañiwa, kañawa, kañahua, kañagua, quitacañigua, ayara, cuchi-quinoa; en Aymara: iswalla hupa, ahara hupa, ajara, kañawa, cañahua; Español: cañahua cañihua, cañigua; en Ingles: Kañiwa, canihua (National Research Council, 1989).

Cáceres *et al* (2003), mencionan que el grano andino (cañahua), ha sufrido una fuerte reducción en su cultivo y esto se da de manera particular en el altiplano central y norte, lo cual implica una menor superficie de cultivo y por ende una disminución en la variabilidad genética, por tanto, es importante promover el uso de la variabilidad genética de los granos que se encuentran almacenados en el Banco Nacional de Granos Alto Andinos a través de estudios y evaluaciones participativas.

De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (2008), en Bolivia se tienen 983 hectáreas cultivadas con cañahua, de las cuales se obtiene una producción de 616 toneladas métricas, generando un rendimiento de 627 kg/ha. La misma encuesta

muestra que el Departamento de La Paz es el mayor productor de este cultivo, alcanzando 609 ha sembradas y una producción de 433 ton que la sitúan como la región con mayor rendimiento del país (711 kg/ha).

Mamani, (2003), reporta que las zonas donde se encuentra distribuido el cultivo, son principalmente la provincia Ingavi, Omasuyos, Los Andes y Aroma en el Departamento de La Paz, mientras que en el departamento de Oruro se ha encontrado una menor área de distribución. También se observa una menor producción en las zonas altas del departamento de Cochabamba como en la zona norte del Altiplano Peruano. Terán *et al.* (2002) indica que las zonas productoras de cañahua en el altiplano norte comprenden las provincias: Omasuyos, Ingavi y Los Andes, donde se cultiva por tradición familiar y forma parte de las estrategias de seguridad alimentaria.

A su vez, Tapia (1990), reporta que la cañahua en nuestro país se cultiva en el Departamento de La Paz, en el área de Pacajes, las zonas altas de la provincia Omasuyos y alrededor de Independencia en el departamento de Cochabamba.

2.2.1.1 Valor nutricional

Según Tapia (1990), la cañahua es una fuente alta de proteína vegetal junto con la quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd). Mamani, (2003), muestra una relación de los valores nutritivos de la cañahua comparados con otros cultivos en el cuadro 1.

Cuadro 1: Valor nutritivo de la cañahua y diversos cultivos expresados en (%)

Elementos	Cañaha	Quinua	Kiwicha	Tarwi	Trigo	Cebada	Avena	Maiz	Arroz	Papa
Humedad (%)	10,9	8,9	9,9	11,3	12,8	12,9	12,0	11,0	13,2	
Materia seca (%)	90,2	87,4	91,0	89,5	88,1	89,1	89,1	89,0	87,9	
Proteína (%)	15,2	14,2	14-18	40-48	11,6	9,9	9,8	9,8	7,7	2,8
Grasa (%)	8,4	5,1	-	20	3,5	3,9	4,3	5,2	2,8	0,2
Carbohidratos(%)	58,6	67,5	-	20	63,8	67,5	63,8	71,4	73,8	18,2
Cenizas (%)	3,4	3,4	-	2,8						
Fibra (%)	3,8	4,1	-	7,3			0,35	0,28	0,12	
P ₂ O ₅ (%)	0,4	0,4			0,19	0,22	0,16	0,04	0,06	
CaO (%)	0,7	0,2			0,04	0,08				

CaO: Oxido de calcio; P₂O₅: Anhídrido fosfórico

Fuente: Mamani 2003

Como se aprecia en el cuadro 1, la cañahua tiene un alto contenido de proteínas, calcio y fósforo respecto a otros alimentos que se consumen masivamente en la dieta diaria de la población.

Por otro lado, PROSUKO (2006), reporta la composición química y valor nutricional de la cañahua en el cuadro 2.

Cuadro 2: Composición química y valor nutricional de la cañahua (por 100 gramos de porción comestible)

Componente	Cañahua amarilla	Cañahua gris	Cañahua hojuelas	Cañahua parda
Energía Kcal	340	334	379	340
Agua (g)	12.0	12.4	8.1	12.2
Proteína (g)	14.3	14.0	17.6	13.8
Grasa (g)	5.0	4.5	8.3	3.5
Carbohidratos (g)	62.8	64.0	61.7	65.2
Fibra (g)	9.4	9.8	11.0	10.2
Ceniza (g)	5.9	5.1	4.3	5.3
Calcio (mg)	87	110	171	141
Fósforo (mg)	335	375	496	387
Hierro (mg)	10.8	13.0	15.0	12.0
Tianina (mg)	0.62	0.47	0.57	0.67
Riboflavina (mg)	0.51	0.65	0.75	0.30
Niacina (mg)	1.20	1.13	1.56	1.45
Ácido ascórbico	2.2	1.1	0	0.0

Fuente: Prosuko (2006)

La cañahua es una planta que ofrece entre un 15 y 18 % de proteína y un contenido excelente de aminoácidos esenciales, tal como se observa y veremos a continuación:

Cuadro 3: Contenido de aminoácidos esenciales en tres líneas de cañahua

Aminoácidos	Cañahua Parda	Cañahua Clara	Cañahua Plomiza
Proteína	14.3	13.8	14.0
Fenilalanina	3.18	3.64	3.72
Triptófano	0.85	0.80	0.74
Metionina	1.40	1.70	1.71
Leucina	5.44	5.86	6.08
Isoleucina	5.80	6.84	6.53
Valina	4.53	4.72	4.25
Lisina	5.07	6.28	6.25
Teonina	4.41	4.89	4.68
Arginina	7.62	7.76	8.23
Histidina	-	-	2.67

Fuente: Prosuco (2006) Memoria “Mesa de Dialogo Técnico Quinoa Cañahua”

2.2.1.2 Principales usos de la cañahua

La preparación más frecuente consiste en tostar ligeramente los granos y posteriormente molerlos, lo cual produce un tipo de harina llamada comúnmente como "Pito", misma que se la consume mezclada con bebidas frías o calientes (Fundación BIODIVERSIDAD, 2007).

De acuerdo con el Programa Suka Kollus (2006), la harina obtenida es utilizada en la panificación como complemento en un 20%, otorgando un sabor particular a los productos obtenidos. Así mismo, mezclando con un poco de vinagre viene a ser tratamiento efectivo para la fiebre aftosa; el pito contrarresta el mal de altura, la disentería y las cenizas de los tallos actúan como repelente para insectos y arácnidos.

Los mismos autores sostienen que los granos no contienen saponina, siendo de uso directo, por lo que su grano generalmente es tostado y molido para luego ser consumido. Sus hojas también son consumibles en guisos y los tallos son utilizados como forraje por su palatabilidad. Por otro lado, en el área rural, la biomasa que queda después de la trilla es quemada y con las cenizas se elabora una pasta llamada “Ilicta”, rica en calcio y utilizada para acompañar la masticación de la coca.

De acuerdo con la revista Ecodigital (2013), la producción de forraje por ha es alta y el rastrojo es digestible, rico en minerales, 30% de proteínas en materia seca (disponible en <http://www.ecodigital.com.ar>).

El Programa Suka Kollus, (2006), menciona que la harina obtenida de los granos de cañahua puede reemplazar a la harina de trigo en el proceso de panificación, sin desmejorar la calidad del pan; además se indica que no existe aparente disminución en el valor proteico entre los panes con harina de trigo, comparando con los porcentajes variables de reemplazo de harina de quinua o cañahua, pero probablemente la comparación en aminoácidos sea ligeramente enriquecida con el uso de otros pseudo cereales.

2.2.2 Aspectos botánicos de la cañahua

2.2.2.1 Origen de la cañahua

Se considera como centro de origen de la cañahua al área circunlacustre del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia (Rojaset, *al* (2010).PROSUKO (2006), indica que, la cañahua, de acuerdo a su origen, es una planta originaria del Sur de Bolivia y del Perú. Esta planta se distribuye por las zonas semiáridas más altas de los Andes centrales de ambos países.

Bravo (1975), Vallenas y Carpio (1974), coinciden en señalar que la cañahua tuvo su origen en las inmediaciones del lago Titicaca, cuyo cultivo data de la época precolombina y llegó a su máximo desarrollo en la cultura incaica.

Por otro lado, Cáceres (1993) afirma que en Bolivia se la cultiva en pequeñas parcelas en inmediaciones del Lago Titicaca; en el Departamento de La Paz en la provincia Pacajes y en las zonas altas de la provincia Omasuyos e Ingavi; en el Departamento de Oruro en la provincia San Pedro de Totora y Nor Carangas; en las provincias Bolívar, Independencia y Tapacarí de Cochabamba.

En el Perú se considera como subcentro a la zona de Cupi-Macari en la provincia Melgar, Departamento de Puno (Rojas *et al*,2010).

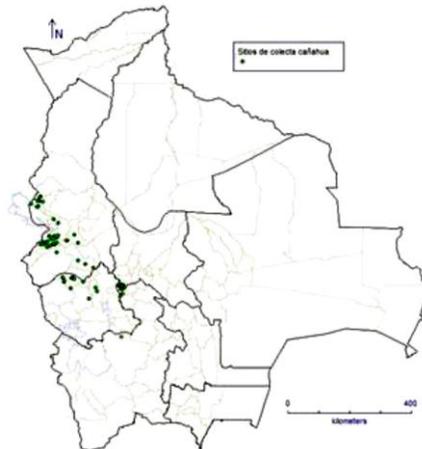


Figura. 1 Distribución de los cultivos de cañahua a lo largo de la región del altiplano (3200 a 4200 msnm).

Fuente: Proyecto IFAD-NUS I y II (2001-2010). Granos Andinos Avances, Logros y Experiencias Desarrolladas en Quinua, Cañahua y Amaranto en Bolivia.

2.2.2.2 Posición taxonómica

La cañahua es una especie diferente a la quinua, poco estudiada, aunque fueron bien diferenciados por los pueblos quechua y aymara. En 1929 el botánico suizo Paul Aellen la denominó *Chenopodium pallidicaule* para nombrar este cultivo, probablemente con base en su espécimen de tallo amarillo.(Tapia, 1979). Según Cronquist (1988), mencionado por Marín (2002) la clasificación es la siguiente: Orden *Caryophyllales*, Familia *Chenopodiaceae*, Género *Chenopodium*, Especie *Chenopodium pallidicaule*, Aellen

2.2.2.3 Características generales y descriptivas del cultivo

De acuerdo con PROSUKO (2006), la cañahua es una planta anual, herbácea, de aspecto muy ramificado desde la base, de acuerdo a la línea. Varía de 20 a 80 cm de altura. Su periodo vegetativo es de 120 a 180 días.

Raíz.

Pivotante axonomorfa con raíces secundarias en buen número, muchos de ellos de color rosado o crema y blanquecinos con pelos absorbentes.

Tallo

El tallo es generalmente erguido o semierguido ramificado, hueco y nudoso, de ramificación basal. Algunos trabajos describen características específicas de los tallos en las líneas Lasta y Saihua que se muestran a continuación:

Línea lasta

Mamani, (2003) y PROSUKO (2006), describen al tallo de forma erguida, simpódico, basalmente ramificada coromboide, por lo cual puede ser postrado con una altura de 30 a 65 cm. El color de los tallos y el follaje puede ir desde un color amarillo, verde, naranja, rosado, rojo, hasta un púrpura en la mayoría de los cultivares.

Calle (1980), mencionado por Quisbert (2003), menciona que estas plantas cuentan con numerosas ramificaciones postradas y semierguidas que nacen desde la base. Prosuko (2006), caracteriza a esta línea por su crecimiento postrado, de consistencia herbácea y anual.

A su vez Mamani (1994), indica, que se observó el hábito de crecimiento bien diferenciado en las lastas, la cual se caracteriza por tener un hábito de crecimiento y desarrollo vegetativo con ramas decumbentes, en número indefinido en forma de coromboide que le dan una característica de frondosidad al follaje y difieren en forma morfológica, estas ramas alcanzan casi a la misma altura que las ramas centrales donde los tallos (ramas) son gruesos y frondosos.

Rojas *et al.* (2002), reportan que las lastas tienen ramificaciones numerosas y se inician desde el cuello de la planta. Tapia (1968) y Lezcano (1979) definen sus formas de crecimiento, como sema-erguidas con ramificaciones que nacen desde la base presentando generalmente más de seis ramas primarias. Corrobora Marín (2002), que los ecotipos lasta se caracterizan por un crecimiento postrado con tallos bastante ramificados desde la base, hojas simples, alternas, deltoides y que al concluir su ciclo la línea lasta rosada presenta tallos de color rojizo y hojas de color verde. Mientras que la línea lasta anaranjada presenta el tallo de color anaranjado con hojas de color verde.

Línea Saihua

Mamani, (2003) y PROSUKO (2006), describen al tallo de igual manera que a la línea lasta, pero la diferencia es que estas pueden ser rectas y normalmente crecen más rápido durante los primeros 70 días, mientras que la producción de materia seca termina en ese tiempo.

Calle (1980), indica que “Saihua” quiere decir ramas o apiñadas, son plantas erguidas con pocas ramificaciones primarias que también son erguidas y estrechas entre sí, formando un tallo agudo con respecto al tallo principal. Prosuko (2006) menciona que el tallo es generalmente erguido o nudoso, de ramificación basal.

Marín (2002), indica que la línea Saihua presenta un crecimiento erecto, con tallos de consistencia herbácea, anual, hojas simples, alternas, deltoides, la línea Saihua rosada presenta el tallo de coloración rosado y las hojas de color verde.

Tapia (1968) y Lescano (1979) definen las formas de crecimiento, de esta línea, como plantas erguidas con 3 a 5 ramificaciones primarias. A su vez Mamani (1994), asegura que el hábito de crecimiento de las Saihua, presentan ramificaciones laterales paralelas al resto de las ramas centrales y al tallo no diferenciado, lo que le da una característica típica a la planta.

Rojas *et al.* (2002), reporta que sus ramificaciones son escasas y dan la apariencia de ser más erectas, sin embargo, en la colección de germoplasma se ha identificado un tercer habito de crecimiento denominado postrado, que se caracteriza por sus tallos caídos y que sólo tienen erguidos sus extremos y que es propio de las cañahuas silvestres.

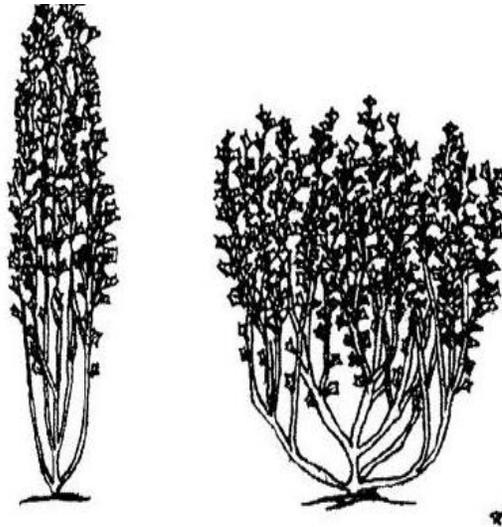


Figura 2: Estructura de las líneas Saihua (izq.) y Lasta (der)

Fuente: Descriptores para la cañahua, IPGRI (2005).

Hojas

Las hojas apicales enteras o lanceoladas de 4 a 10 mm de largo de 10 a 20 mm de ancho, pecíolo de 3 a 8 mm de largo de color rosado intenso y rosado verdoso hacia la mitad inferior de la planta, las hojas basales dentadas en los lóbulos extremos de la mitad al pecíolo. Las hojas contienen vesículas con oxalatos, que le permiten a la planta mantener la humedad en condiciones muy secas.

Inflorescencia

La inflorescencia no fue definida a la fecha por las características de la planta; sin embargo, se describe que las flores son de 1 a 2 mm de diámetro, criptantos (flores ocultas) protegidas por un antohipsófilo acrescente, dentro de esta estructura se

encuentra la inflorescencia de tipo panoja simple que se denomina inflorescencia simple *antoideforme* con ocho flores en promedio (Mamani, F., 2003).

Fruto

Según Marín (2002), el fruto es un ovario blanquecino y coloreado, cubierto por el perigonio de color generalmente gris y de pericarpio muy fino y translúcido. Al fruto, se describe como utrículo o aquenio, tamaño que varía de 0.8 a 1.8 mm. Así mismo, afirma que el fruto utrículo, tiene la particularidad de que en la línea lasta rosada presenta un color negro y en la línea lasta anaranjada un color castaño en la madurez fisiológica.

Semilla

Las semillas son lenticulares, de 1 a 1.2 mm de diámetro, el embrión es curvo y periforme, el epispermo muy fino y punteado de color negro, Estas semillas no presentan dormancia y pueden germinar sobre la misma planta al solo tener humedad suficiente. El grano no tiene saponina y por ende no es amarga (PROSUKO, 2006).

Cárdenas (1969), clasifica en tres grupos, la coloración del grano: gris, negro, castaño. Al respecto Mamani (2003), indica, no existe semilla correctamente descrita por las características del fruto; durante la emergencia de la planta, la semilla es epigea, puede observarse al momento de la emergencia de la planta protegido por el perigonio. Así mismo, el mismo autor afirma que en el caso de las lastas y saihuas, dependiendo a la línea de cañahua, el color del grano maduro es: Castaño, plomo, anaranjado negro y café.

2.2.3 Fases fenológicas

Catacora (1989), señala las siguientes fases fonológicas para la cañahua:

- a) Emergencia.- Cuando la plántula sale del suelo extendiendo las dos hojas cotiledóneas protegidas por el epispermo, esto de los 7 a los 10 días de la siembra.
- b) Dos hojas verdaderas.- Son las primeras hojas en realizar fotosíntesis que salen posteriormente a las cotiledóneas, alcanzando una longitud aproximada de 0.5 cm.
- c) Ramificación.- Llamado también enramado, se inicia con el desarrollo de las ramas secundarias que aparecen en la base de la planta en forma opuesta, alcanzando una longitud de 5 cm paralelos al tallo principal.
- d) Formación de inflorescencia.- Se observa la aparición de las primeras inflorescencias en la rama principal de la planta.
- e) Floración.- Se considera floración cuando se tiene 50 % de apertura de las flores de la rama principal, la duración de la floración por inflorescencia es de 9 a 14 días, siendo la apertura de la flor de 3 a 7 días.
- f) Grano lechoso.- El grano al ser presionado despiden un líquido lechoso, esta fase es la más susceptible a la incidencia de las heladas menores a 2 °C.
- g) Grano pastoso.- Los granos al ser presionados muestran una consistencia mañosa de color blanco, el mismo que es considerado como grano en estado pastoso.
- h) Madurez fisiológica.- Cuando los granos alcanzan un máximo de materia seca y tamaño, interrumpiéndose el traslado de los nutrientes hacia la semilla, el 5 % de los primeros granos empiezan a desgranarse.

2.2.4 Plagas y enfermedades

Marín, (2002), considera plaga a cualquier ser vivo: Insectos, aves, animales, plantas, que, con sus actividades producen daño económico en el cultivo, la cual reduce la capacidad productiva; la cañahua, es uno de los más resistentes en cuanto a plagas y enfermedades.

2.2.5 Ambiente protegido

Romero (2011), menciona que el empleo de ambientes atemperados en la producción de cultivos, se va incrementando cada vez más en el mundo, especialmente para cultivar plantas fuera de estación. A su vez, para Avilés (1992), este tipo de ambientes constituyen una tecnología apropiada por sus características de uso de mano de obra intensiva, de uso fácil y de costos relativamente bajos, puesto que se busca el empleo de materiales locales.

De acuerdo con Silva (2004), “walipini” es una voz aymara que quiere decir “siempre bueno”, es decir que en estas construcciones se puede cultivar durante todo el año sin perjuicio de las fuertes heladas o sequías que son frecuentes en la región del altiplano.

Los “walipinis” representan una variante de los ambientes atemperados comúnmente vistos en el altiplano. La diferencia con éstos es que se construyen en el subsuelo requiriendo menor cantidad de materiales externos.

2.2.6 Mutaciones.

Para Mellado (2004), las mutaciones son cambios hereditarios repentinos que pueden afectar a los genes, o a los cromosomas. Las mutaciones se pueden producir naturalmente, o bien tratando a las semillas con productos químicos, con rayos X, o con radiaciones de Cobalto.

Guzmán (1996), define la mutación como:

- ✓ Cambios repentinos y hereditarios en la estructura del material genético.
- ✓ Cambio inesperado en el material hereditario de una célula.
- ✓ Variación brusca que es hereditaria, resultado de cambios en el gen o genes afectados.

Según De Vries, citado por Guzmán (1996) propuso el vocablo mutación para designar los cambios grandes y discontinuos del genotipo. Para Mellado (2004), el concepto general de mutación se señala como “cambios que sufre el material genético, que trae como consecuencia la formación de un fenotipo alterado”.

Según Priestley, (1986), señala que el mejoramiento de una especie por mutación, se diferencia de otro tipo de mejora solamente en la primera fase ósea en la reacción de la variabilidad genética que provoca cambios genéticos en los materiales mediante tratamiento del material de partida con diferentes agentes mutagénicos, además que la importancia de la mejora por mutación radica en algunos aspectos esenciales.

2.2.6.1 Mutaciones inducidas

El establecimiento de un programa de mejoramiento, sólo es posible cuando se dispone de variabilidad genética suficiente para los caracteres objeto de mejora. Cuando esta no está disponible, está ligada a genes indeseables o se desea reducir el tiempo de obtención de las nuevas combinaciones génicas, entonces podemos recurrir a las mutaciones inducidas, reconocidas como una herramienta importante y de gran valor para el mejoramiento de las plantas a través de las cuales podemos obtener nuevos ecotipos o variedades de interés para la investigación o producción (Micke, 1981, 1984, mencionados por Martín, *et. al.* 1989).

Suarez (2006), menciona los principales objetivos para las irradiaciones:

- ✓ Mejorar una o pocas características de una variedad o línea.
- ✓ Inducir un marcador morfológico (color, aristas, etc.) para establecer la identidad de una línea promisoría para su registro como variedad.
- ✓ Inducir esterilidad masculina o restaurar la fertilidad en líneas para la producción de híbridos.

- ✓ Obtener dentro de genotipos bien adaptados, mutantes para características de herencia simple útiles para el mejoramiento o para inducir mutaciones posteriormente.

2.2.6.2 Mutaciones físicas

Guzmán (1996), indica que los agentes de irradiación como los rayos X, radiación ultravioleta, rayos gamma, efectos de centrifugación son capaces de ocasionar mutaciones en plantas y semillas, aplicando dosis exactas en el momento oportuno y el lugar adecuado, como en el caso del cultivo de papa *in vitro* que fueron irradiados (15, 30, 45 Gy) en un tiempo de (9.15, 18.32, 27.47 minutos) esta investigación se realizó en el CIN – Viacha, “IBTEN”.

El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) (1998), señala, que se llama, radiación gamma a la radiación electromagnética generada espontáneamente en el núcleo de átomos inestables o radiactivos. El núcleo tiene un sistema de estados cuantizados de energía pudiendo encontrarse en estado fundamental (energía mínima) o en estado excitado con niveles de energía superiores. Hay diversos procesos por los cuales puede excitarse el núcleo; como por ejemplo, puede suceder que en un proceso de integración alfa o beta deje al núcleo final en un estado excitado en lugar de su estado base. En el proceso de desexcitación el núcleo emite radiación electromagnética denominada gamma.

También, IBTEN (1998), advierte, que la diferencia entre rayos X y rayos Gamma es que normalmente los rayos gamma se originan en el núcleo del átomo, mientras que los “X” se generan alrededor de él, en las orbitas electrónicas de los átomos, la otra diferencia es que los rayos gamma tienen energías bien discretas bien definidas, los rayos “X”, se producen con todo un espectro de energías, hasta un valor máximo característico.

De la misma manera, Gálvez (2000), menciona que a la energía absorbida por unidad de masa se le llama *dosis de radiación* y se medirá, por tanto, en unidades de energía. Desde 1988, fecha en que se adopta el Sistema Internacional (SI), la unidad de dosis es el *Gray (Gy)*. Se dice que un cuerpo ha recibido una dosis de 1 Gray, cuando ha absorbido un julio de energía radiante por kilo. Anteriormente se usaba el RAD (Radiation Absorbed Dose) que corresponde a 100 ergios absorbidos por gramo, luego *1 Gray es igual a 100 RAD*.

“El Organismo Internacional de Energía Atómica” OIEA (1991), se refiere, las partículas alfa de los materiales radiactivos son detenidas por un pedazo de cartón. Las partículas beta, penetran el cartón pero son detenidas por una lámina de aluminio. Aun una gruesa lámina de plomo, puede no ser suficiente para detener los rayos gamma.

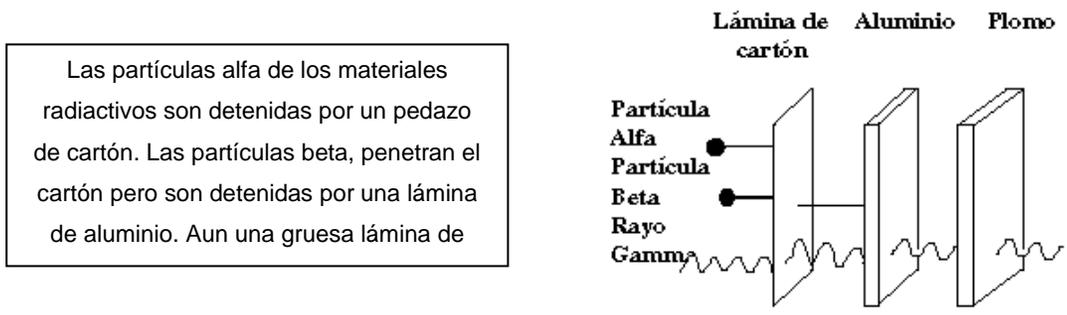


Figura 3. Partículas alfa de los materiales radiactivos son detenidas.

Fuente: HEIN, M. (1992) *Química nuclear*

2.2.6.3 Mutaciones químicas

Según, Guzmán, (1996), las mutaciones químicas se producen por todos aquellos productos químicos que son mutagénicos tanto en animales como en plantas, algunos afectan por ejemplo a algunos organismos, pero no a otros, mientras que en algunos presentan acción restringida a estadios específicos del desarrollo o sexo. Algunos de los mutagénicos químicos más usados son: ácido nitroso, cachicana, etiletano-sulfanato, proflavina, nitrosaminas, gas de mostaza.

2.2.7 Aplicación de mutaciones

Mellado (2004), señala que en la naturaleza, todos los organismos, incluyendo al hombre, constantemente están recibiendo la acción de dos fuerzas: por un lado, las mutaciones, o cambios genéticos, que ocurren en el genotipo, y por otro la selección natural, que opera sobre este genotipo, perpetuando algunos cambios genéticos y eliminando otros.

Todos los estudios así lo indican, en el mejoramiento convencional solo pueden identificarse a través de sus efectos sobre la expresión de las características visibles, tales como por ejemplo, el color y forma de las flores, la altura, la resistencia a enfermedades, etc. Posteriormente los avances tecnológicos, como la invención del microscopio y los conocimientos de química y biología, han hecho posible la investigación en procesos sistemáticos y programados, dirigidos a cambiar las características internas de las plantas, a través de cruzamientos artificiales, radiaciones, productos químicos, u otros medios de creación de variabilidad que alteren el genotipo, y que posteriormente posibiliten aplicar la selección artificial de los individuos más calificados.

El mismo autor menciona que las mutaciones que alcanzan a las células sub epidérmicas, afectarán a los gametos y serán heredables. Generalmente son recesivas, por lo que en el caso de las plantas autógamas es necesario que las plantas se reproduzcan naturalmente por varias generaciones para que haya la posibilidad de encontrar una mutación estabilizada en forma homocigota.

Gálvez, (2002), indica que, las radiaciones de los isótopos radiactivos son ionizantes y aplicadas a las células vivas no alteran los principios inmediatos, pero al ionizar el ADN inhiben o modifican su capacidad de duplicación, en esta propiedad se basan las siguientes aplicaciones: Mejora de las variedades de cultivos agrícolas por selección de mutantes, Control de las plagas de insectos por la técnica TIE (Técnica de insectos estériles consiste) y Mejora de la producción pecuaria.

La práctica de la irradiación a la mutación por medio de irradiaciones es una técnica utilizada para facilitar una aguda y crónica irradiación sobre el material biológico aplicando un amplio rango de dosis expuesta bajo condiciones ambientales controladas.

La irradiación con cobalto 60 se utiliza para obtener plantas mejoradas, siendo concebido en muchas partes del mundo en el aprovechamiento de plantas precoces o plantas de tallo corto que facilitarían la cosecha y además serán resistentes a plagas y enfermedades (Singleta *et al* 1961; Casaccia *et al* 1962).

2.2.8 Mecanismos biológicos que generan variación y alteran la constitución genética de las plantas.

Mellado (2004), menciona, que, los mecanismos biológicos que pueden generar variación genética en las especies son, las hibridaciones, las recombinaciones y las mutaciones. Estos mecanismos producen variabilidad a nivel de los genes. Los genes son la unidad básica de la herencia, se ubican en los cromosomas, y son transmitidos a través de las generaciones por las células germinales (gametos) las que al combinarse en un fondo genético común producen efectos característicos en el individuo originado.

A si mismo Mellado (2004) menciona que una manera de solucionar este problema ha sido la incorporación de medios que alteren genéticamente. Por medio de las

irradiaciones de los cereales, se han creado centenares de variedades mediante mutaciones: más de 200 variedades de cebada, más de 100 de trigo, unas 50 de maíz y más de 300 de arroz, las mutaciones de yema o somáticas que afectan las capas epidérmicas, se perpetúan por reproducción vegetativa y solo afectan a una parte de la planta, en el caso de las Quimeras que se expresan como tejidos de distinta coloración.

2.2.9 Dosis de absorción y dosis permitidas

2.2.9.1 Dosis absorbida

IBTEN (1998), indica que, la dosis absorbida se define como el coeficiente entre el valor promedio de la energía depositada por la radiación ionizante en la mitad de masa cuando esta es lo suficientemente pequeña.

2.2.9.2 Dosis efectiva

IBTEN (1998), la define como la vulnerabilidad de algunas partes y la resistencia de otras partes a irradiar. Los fenómenos biológicos de las radiaciones gamma, que es absorbida por el sistema biológico, se disipan en diversos fenómenos causando la ionización y la excitación. Estos fenómenos pueden provocar reacciones químicas lo cual da lugar a las reacciones biológicas.

2.2.9.3 Dosis de irradiación permitidas

El “Joan Expertos Committee on Food Irradiation” (JECFI) en 1980, concluyó que la irradiación de cualquier alimento con dosis de hasta 10 kGy ofrece un producto inocuo. Esta dosis no representa un límite, se eligió porque la mayoría de las aplicaciones en irradiación de alimentos se desarrolla en este rango.

Según el Codex Alimentarius (2003), órgano de FAO que dicta normas para las buenas prácticas de elaboración y manipulación de alimentos, tomó recientemente (marzo de 2003) en consideración las conclusiones de FAO y OMS de 1999, y aceptó la irradiación a dosis superiores a 10 kGy. "Inocuidad de alimentos irradiados a dosis mayores a 10 kGy" , 1999, Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Mundial de la Salud (WHO), Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). Posteriormente, estas organizaciones de Naciones Unidas evaluaron la inocuidad de los alimentos irradiados con dosis superiores a 10 kGy. En 1999 concluyeron que dicha inocuidad está asegurada, a cualquier dosis de irradiación empleada.

2.2.10 Efectos genéticos

Los efectos que aparecen en el organismo de los descendientes, puede causar mutaciones que se manifiesten en generaciones posteriores. Las mutaciones, una vez ocurridas, son permanentes, la probabilidad de una mutación aumenta con el aumento de dosis. (IBTEN, 1998).

2.2.10.1 Dosis letal media

Predieri y Zimmerman (2001), la definen como la radiosensibilidad del tejido, la cual es estimada a través de la respuesta fisiológica del material irradiado. Se debe determinar la dosis que causa un 50% de reducción del crecimiento vegetativo del material tratado (DL50) cuando es comparado al testigo en el primer ciclo vegetativo después del tratamiento.

La radiosensibilidad varía con la especie y la variedad, con la condición fisiológica de la planta y órganos y con la manipulación del material irradiado antes y después del tratamiento mutagénico (Briggs y Constantin 1977).

A si mismo Predieri y Zimmerman (2001), menciona, que las correlaciones entre el estado fisiológico de las plantas y su radio sensibilidad son, a menudo, determinadas por el contenido de agua del tejido.

2.2.11 Experiencias en la obtención de genotipos por mutación con Cobalto 60 en la agricultura

Según la IAEA (2007), en el período de 1969 al 2002, se registraron 2252 variedades mutantes de 163 especies en 62 países. De entre esas, 910 han sido obtenidas con rayos gamma. Las variedades obtenidas por mutaciones pueden ser usadas directamente o como progenitores en programas de cruzamientos.

Según, la OIEA (1991), los científicos usan la radiación gamma del Co 60 u otras fuentes en la investigación agrícola para desarrollar granos resistentes a las enfermedades, o altamente productivos. Las semillas se exponen a la radiación gama para inducir mutaciones. Las plantas más saludables y vigorosas que crecen de semillas irradiadas, se seleccionan y se propagan para obtener variedad nueva y mejorada para uso comercial. La preservación de alimentos mediante radiación es otra aplicación benéfica. El alimento se expone a radiación gama o un haz de partículas beta suministradas respectivamente por Co 60 o Cs 137. Se destruyen los microorganismos que pudieran causar deterioro del alimento, pero sólo se eleva ligeramente la temperatura de éste. El alimento no se vuelve radiactivo como resultado de este proceso, pero aumenta notablemente su duración en almacén.

(OIEA), (1994), señala, que la fitotecnia mutacional ha tenido un éxito enorme con el arroz. La conferencia de 1964, bajo los auspicios de la (Food and Agriculture Organization) (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), establece un importante programa coordinado de mejoramiento del arroz que permitió obtener gran cantidad de variedades nuevas mejoradas con ayuda de mutaciones inducidas. Antes de comenzar el programa, había cuatro cultivares mutantes de arroz autorizados. Hoy existen más de 200. En todo el mundo hay

millones de hectáreas sembradas de cultivares mutantes de arroz y las repercusiones han sido enormes.

En trabajos realizados en la Estación Territorial de Investigaciones del Arroz en Cuba, se obtuvieron por inducción de mutaciones una nueva variedad de arroz de ciclo medio a partir de la variedad original j-104, de elevado potencial de rendimiento agrícola, grano cristalino de buena calidad industrial, resistente a las principales plagas y enfermedades, sus resultados confirman su empleo como variedad comercial a partir del año 2002.

Según, Gálvez, (2002), la mejora en el rendimiento de las cosechas se ha conseguido; por ejemplo, introduciendo nuevas variedades de cultivos agrícolas conseguidas por mutaciones inducidas por las radiaciones. La irradiación de semillas produce mutaciones en sus genes, la mayoría no aportan nada positivo, pero una pequeña fracción de ellas da lugar a variantes genéticas de interés, creándose así variedades de cultivos de alto rendimiento, bien adaptadas al medio y con mayor resistencia en las enfermedades.

De la misma manera, Gálvez (2002), indica que, se han producido ya mil quinientas variedades mejoradas de diferentes especies, de las cuales el 90% se han conseguido gracias a la radiación. Entre los éxitos que han reportado mayores beneficios económicos, citaremos: un mutante de algodón que se consigue en 1983 y se aplica en Pakistán que duplica la producción de las cosechas; un mutante de arroz que se consigue en China en 1985 que madura en sólo veinticinco días y tiene mayor cantidad de proteína que las variedades tradicionales, una nueva variedad del sorgo, planta que ha mejorado mucho con esta técnica, etc.

Según COSUMER (2005), los defensores de la irradiación opinan que no supone ningún riesgo para la salud del consumidor. Evita intoxicaciones y limita el uso de conservantes químicos, aseguran. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) respaldan esta técnica,

porque se abre una vía fácil y efectiva a la conservación de los alimentos, especialmente en el Tercer Mundo.

Así mismo la Fundación EROSKI (2007), señala, la irradiación con Co60 no solo sirve para la transformar el material genético a nivel celular, sino también para la reducción de pérdidas de alimentos tras la recolección y la mejora de su calidad sanitaria. Un buen ejemplo es la irradiación de fruta fresca para eliminar ciertos insectos que causan estragos en un centenar de variedades durante su almacenamiento, retrasando además su proceso de maduración y prolongando su vida comercial útil; o también la destrucción de larvas en cereales, legumbres y semillas, que devoran, en su fase de gorgojo, grandes parte de las reservas almacenadas (Disponible en: <http://www.maelanfontes.com/index.php/mis-publicaciones/refutacion-eroski-consumer>).

El Programa de Cereales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, (UNALM). Lima Perú, viene aplicando, la inducción de mutaciones en el mejoramiento de variedades comerciales y líneas promisorias de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd), consiguiendo buenos resultados (Gómez *et al*, s.f.)

El mejoramiento por mutación fue especialmente popular en Estados Unidos durante los años 70, Above, la variedad nueva de trigo, es resistente a los herbicidas (Disponible en <http://wheat.colostate.edu/above.html>).

III. SECCIÓN DIAGNÓSTICA

3.1 Materiales y métodos

3.1.1 Localización y ubicación

El estudio se llevó a cabo en el “Centro de Investigaciones Nucleares” (CIN–Viacha), dependiente del “Instituto Boliviano de Ciencia y tecnología Nuclear” (IBTEN) ubicada en el cantón Suripanta, a 30 km de la ciudad de La Paz. La ubicación del centro es: 16° 39`30” latitud sur y 68° 18`55” longitud oeste del meridiano de Greenwich. La altura a la que se encuentra la estación es de 3850 m.s.n.m.

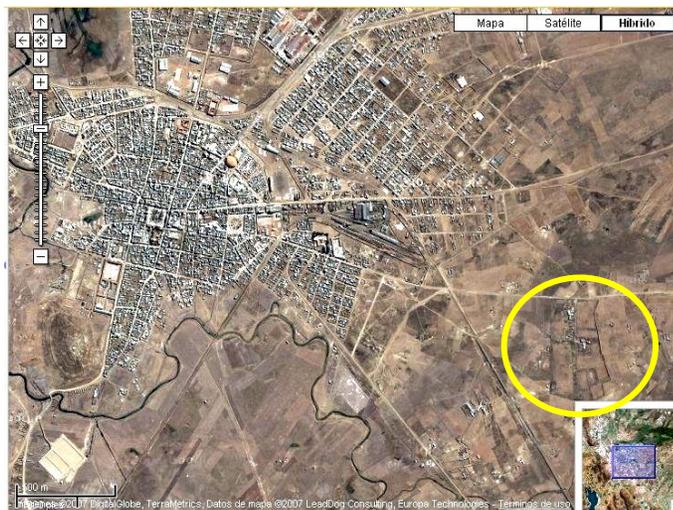


Figura 4: Ubicación del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN – Viacha), IBTEN.

Fuente: Google Earth (2013)

3.1.2 Características del lugar

Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano y posee un clima frío y seco la mayor parte del año con una estación lluviosa entre diciembre y febrero. Según el SENAMHI (2013), la localidad presenta las siguientes características climáticas: una precipitación media anual de 458,2 mm, temperatura mínima media anual de -

0.9°C y una temperatura máxima media de 16,8°C. Presenta además, 175 días con helada durante el año.

La vegetación está formada por varias especies, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: Cebadilla (*Bromus unioloides*), Paja Brava (*Festuca orthophylla*), Ichu (*Stipa ichu*), y Thola (*Parastrephya caudrangularis*).

3.1.3 Materiales

Para el trabajo de investigación se utilizó tres líneas de cañahua: Lasta rosada, Lasta anaranjada y Saihua rosada proporcionadas por el “Programa Granos Andinos” (PROGRAMO) de la Facultad de Agronomía – UMSA.

3.1.4 Metodología

La investigación se realizó en dos etapas las cuales fueron:

Fase I. Ensayos en laboratorio (dosimetría)

Fase II. Evaluación agronómica en ambiente protegido (walipini)

3.1.4.1 Fase 1. Ensayos en laboratorio (dosimetría)

Pruebas de germinación de la semilla (antes de la irradiación)

Se prepararon cajas petri (con un diámetro de 9 cm y alto de 1.5 cm), en cuyo interior se colocó papel absorbente humedecido con agua destilada, luego se colocó 30 semillas de cada línea (Lasta rosada, Lasta anaranjada y Saihua rosada) por un lapso de 24 horas.

Para encontrar el porcentaje de germinación, se empleó la siguiente fórmula:

$$\%Germinación = \frac{N^{\circ} \text{ Total Semillas}}{N^{\circ} \text{ Total Semillas Germinadas}} * 100$$

Esta actividad tuvo el objetivo de determinar la viabilidad del material genético a utilizar para la irradiación con Cobalto⁶⁰.

Evaluación de granos con o sin perigonio para determinar el porcentaje de germinación y el desarrollo de las plántulas en el tiempo.

Esta prueba fue realizada para determinar la influencia o no del perigonio de la semilla, en la germinación y el crecimiento de las plántulas. De esta forma se pretendía determinar el mejor comportamiento de las semillas (cubiertas y descubiertas) a ser utilizadas en el proceso de irradiación.

Al igual que en el anterior caso se utilizó cajas que tenían en su interior papel absorbente y humedecido con agua destilada. Para la prueba se utilizó 30 semillas con perigonio y 30 sin perigonio; la escarificación fue realizada mecánicamente, es decir con las manos. Las variables evaluadas fueron: altura, longitud de raíz, peso de la plántula.

Pruebas de irradiación y germinación de semillas

La irradiación de semillas en tres líneas de cañahua con Cobalto⁶⁰, fue realizada en los laboratorios del Hospital de Clínicas en la ciudad de La Paz, utilizando una Bomba de Cobalto⁶⁰ TERADI 800 modelo 8002C. Así mismo, se utilizaron semillas escarificadas (sin perigonio) que, producto de una anterior prueba, mostraban un mejor comportamiento en cuanto a crecimiento se refiere.

✓ *Primera prueba.*

El objetivo de la prueba fue encontrar la Dosis Letal Media (DL50), por efecto de la irradiación con Co⁶⁰ en los granos de cañahua sin perigonio, y la determinación del

porcentaje de germinación. El siguiente cuadro resume los tiempos y las dosis de irradiación aplicadas a las semillas.

Cuadro 4: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua

Dosis de irradiación en Grey	Tiempo en minutos
30	27
45	38
60	48

Fuente: Elaboración propia

Las dosis se eligieron en base resultados que se obtuvieron en estudios de mutaciones en papa (*Arizaca, 2003*).

Los tiempos de exposición dependen de cuan cerca o la distancia de la fuente de cobalto con el material de estudio se encuentren, para lo cual, se calibro, tomando en cuenta, el aire, la altura de las cajas petri, el diámetro de las cajas petri y el diámetro de las semillas, esto para que el material genético reciba realmente la dosis de aplicación en forma eficiente.

En esta primera prueba, se realizaron dos ensayos, una parte de las semillas de cañahua fue sembrada en cajas petri y la otra parte en tubos de ensayo con una solución de Murashige Skoog bajo condiciones controladas. Ambas con el fin de determinar la Dosis Letal Media en base al porcentaje de germinación y crecimiento de las semillas germinadas.

El primer proceso tuvo una duración de 10 días (240 horas) y el segundo proceso tuvo la duración de 9 días (216 horas) y las variables evaluadas fueron: altura de planta, longitud de raíz y número de hojas.

El medio de cultivo utilizado para la prueba en tubos de ensayo (in vitro) fue preparado en base al medio basal MS de Mushige y Skoog (1962). Por recipiente (tubo de ensayo) se colocó 2 ml de medio de cultivo.

Para la introducción del material vegetal a condiciones in vitro las semillas fueron tratadas con etanol al 70 % (c/u) por 20 segundos y en lavandina al 4 % (c/u) por 60 segundos y finalmente se enjuago los restos de lavandina con agua destilada.



Fotografía 1: Evaluación de las plantas de cañahua en los tubos de ensayo
Foto: Llanos, 2013

Luego de la esterilización, las semillas fueron sembradas 1grano en cada recipiente (tubo de ensayo). Todo el proceso se realizó en condiciones de asepsia en cámara de flujo laminar. Introducidas las semillas, los recipientes fueron sellados con parafilm, etiquetados y transportados a la cámara de crecimiento.

✓ *Segunda prueba*

Al no encontrar la DL 50 en la anterior prueba, se realizó una segunda prueba de irradiación con el mismo objetivo y bajo el mismo procedimiento. En esta oportunidad se aumentó la dosis de irradiación a 50, 100 y 150 Gy y el seguimiento del experimento se realizó por tres días (72 horas). De la misma forma se evaluaron la altura de planta, longitud de raíz y número de hojas.

El siguiente cuadro resume los tiempos y las dosis de irradiación aplicadas a las semillas.

Cuadro 5: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua

Dosis de irradiación en Grey	Tiempo en minutos
50	41
100	82
150	123

Fuente: Elaboración propia

✓ *Tercera prueba*

Al no obtener resultados con las dos primeras pruebas, respecto a la determinación del DL 50, se incrementó la dosis de irradiación a: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 Gy. El siguiente cuadro resume los tiempos y las dosis de irradiación aplicadas a las semillas.

Cuadro 6: Dosis y tiempo de irradiación con Cobalto60 en tres líneas de cañahua

Dosis de irradiación en Grey	Tiempo en minutos
30	5
60	36,5
90	54,5
120	72,5
150	90,5
180	108,5
210	126,5
240	144,5

Fuente: Elaboración propia

El seguimiento del experimento se realizó por 16 días (384 horas), evaluando las mismas variables anteriores.

3.1.4.2 Fase 2. Etapa de campo

a) Irradiación del material genético

Para la etapa de campo, las semillas antes de la irradiación fueron sometidas a una escarificación mecánica por la cubierta dura (perigonio). Posteriormente al igual que en la etapa de laboratorio fueron irradiadas a diferentes dosis desde 0 (testigo hasta 240 Gy. Estas dosis fueron elegidas considerando que en las anteriores tres pruebas no se logró obtener el DL 50 con ninguna de las dosis aplicadas. Una de las hipótesis manejadas es que la DL 50 podría aparecer durante el crecimiento de la planta.

El siguiente cuadro resume las dosis y el tiempo de irradiación aplicado a las semillas de las tres líneas de cañahua: Lasta rosada. Lasta anaranjada y Saihua rosada.

Cuadro 7: Dosis y tiempo de irradiación a las que fueron sometidas las semillas de las tres líneas de cañahua.

Dosis de irradiación (Gy)	Tiempo Minutos
a1= 0 testigo	0
a2= 30	18.50
a3= 60	36.54
a4= 90	54.52
a5= 120	72.52
a6= 150	90.52
a7= 180	108.52
a8= 210	126.52
a9= 240	144.52

Fuente: Elaboración propia

b) Diseño experimental

Para la evaluación de los datos se utilizó el Diseño Bloques Completamente al Azar con arreglo bifactorial, donde el factor A está representado por las dosis de irradiación y el factor B por las líneas de cañahua. El resultado de la interacción entre estos factores origina 27 tratamientos, los cuales fueron distribuidos en cuatro bloques y 5 repeticiones para cada línea, dando como resultado 540 unidades experimentales (plantas).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = una observación cualquiera

μ = media general

β_k = efecto del k-ésimo bloque

α_i = efecto del i-ésimo nivel de las dosis de irradiación (factor A)

γ_j = efecto del j-ésimo nivel de las líneas de cañahua (factor B)

$(\alpha\gamma)_{ij}$ = efecto de la interacción de líneas con dosis de irradiación A*B

ϵ_{ijk} = error experimental total

(Calzada, 1982)

Cuadro 8: Tratamientos y combinación de los factores de estudio para determinar el efecto de diferentes dosis de irradiación en las líneas de cañahua.

Tratamientos	Factor A		Factor B	
	Dosis de irradiación (Gy) con Cobalto 60 (Rayos gamma)		Líneas de Cañahua	
T1	a1	0	b1	Lasta Rosada
T2		0	b2	Lasta Anaranjada
T3		0	b3	Saihua Rosada
T4	a2	30	b1	Lasta Rosada
T5		30	b2	Lasta Anaranjada
T6		30	b3	Saihua Rosada
T7	a3	60	b1	Lasta Rosada
T8		60	b2	Lasta Anaranjada
T9		60	b3	Saihua Rosada
T10	a4	90	b1	Lasta Rosada
T11		90	b2	Lasta Anaranjada
T12		90	b3	Saihua Rosada
T13	a5	120	b1	Lasta Rosada
T14		120	b2	Lasta Anaranjada
T15		120	b3	Saihua Rosada
T16	a6	150	b1	Lasta Rosada
T17		150	b2	Lasta Anaranjada
T18		150	b3	Saihua Rosada
T19	a7	180	b1	Lasta Rosada
T20		180	b2	Lasta Anaranjada
T21		180	b3	Saihua Rosada
T22	a8	210	b1	Lasta Rosada
T23		210	b2	Lasta Anaranjada
T24		210	b3	Saihua Rosada
T25	a9	240	b1	Lasta Rosada
T26		240	b2	Lasta Anaranjada
T27		240	b3	Saihua Rosada

Fuente: Elaboración propia.

El croquis de distribución de los tratamientos en las masetas se muestra a continuación. En total se evaluaron 540 plantas.

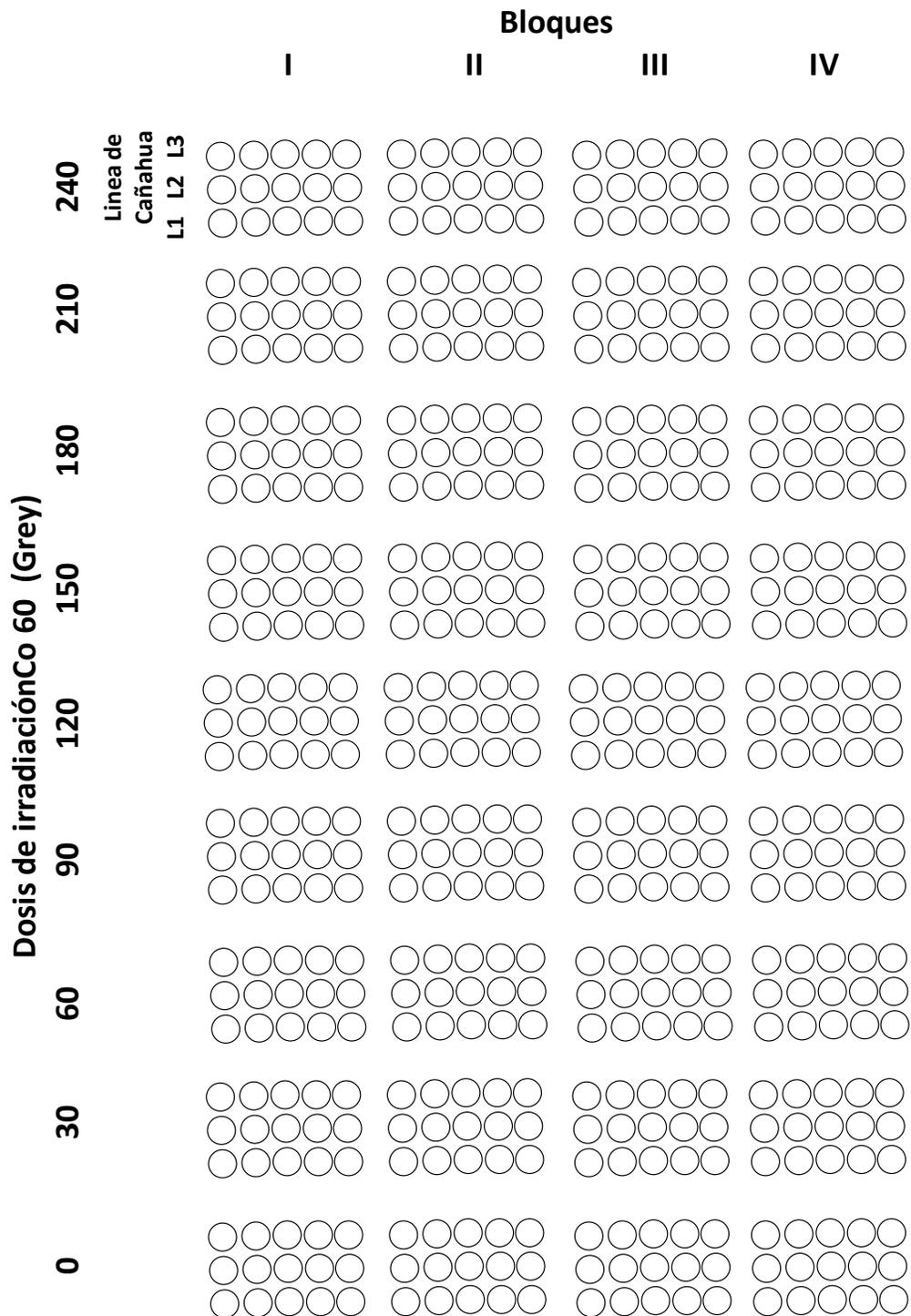


Figura 5. Croquis del experimento

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2: Disposición de las macetas en el walipini

Foto: Llanos, 2013

c) Siembra en ambiente protegido de las semillas irradiadas y seguimiento

✓ Adecuación del walipini

Al no encontrar la (DL50), para la etapa de campo, las semillas fueron irradiadas en un rango de 0 a 240 Gy. Además, debido al elevado costo del tratamiento de irradiación, la limitada disponibilidad del material genético y sumando las condiciones climáticas de la época en Viacha, la siembra fue realizada en un walipini (ambiente atemperado) utilizando macetas de polietileno. Las dimensiones del walipini para la investigación fueron de 5 m de ancho x 7 m de largo y 2.5 m de profundidad. La cubierta de este ambiente es de polietileno (agrofilm) y una estructura de fierro que sostiene botellas de plástico llenas de agua para mantener por el mayor tiempo posible, la temperatura acumulada durante el día.

La delimitación fue de 0.5 X 0.7 m para cada bloque y los pasillos de 0.4 m, obteniendo 4 bloques.

✓ Preparación del sustrato para la siembra de las semillas

El sustrato se preparó en una relación de 3:1 (tierra del lugar: turba). Una vez realizada la mezcla se procedió a distribuir el sustrato en macetas de polietileno de

16 x 27 cm haciendo un total de 540 unidades experimentales. Estas fueron ubicadas de acuerdo al diseño experimental utilizado.

El análisis del sustrato empleado fue realizado en los laboratorios de Física y Química de suelos del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), cuyos resultados se muestran en el Anexo. Los principales resultados de dicho análisis muestran un sustrato de clase textural Franco Arcillo Arenoso (FYA), ya que cuenta con 63% de arena, 21% de arcilla y 16% de limo. Chilón (1986) considera que estas proporciones corresponden a una clase textural fina y Narro (1994) asigna a esta clase textural con una Densidad aparente entre 1.15 y 1.3 g/ml, lo cual se asocia a una condición apropiada para el desarrollo de los cultivos y su manejo. Asimismo, el valor de la porosidad es de 53.8 % que corresponde a suelos ricos en coloides, debido a que las cargas eléctricas de estos, generan un acomodo de partículas con mucho espacio libre.

El pH del sustrato presenta un valor de 5.40, el cual es considerado por Cepeda (1991) como moderadamente ácido. La capacidad de intercambio catiónico es de 4.65, calificado por Chilón (1986) como muy bajo. Por otro lado, el mismo autor indica que la saturación de bases (indicador de fertilidad) es alto por alcanzar un valor de 98.3%; la conductividad eléctrica (0.564 mS/cm) indica que no se presentaron problemas de salinidad. El fósforo asimilable es de 7.46 ppm (medio), el nitrógeno total es de 0.13% (medio) y la materia orgánica en el sustrato es de 3.32 % considerado como de nivel medio.

✓ *Siembra*

La siembra fue realizada colocando una semilla en cada unidad experimental, para luego ser cubiertas con paja brava (*Festuca ortophilla*) del lugar con el propósito de mantener la humedad en la maceta.

✓ *Labores culturales*

El control de malezas se realizó en forma manual en cada uno de los estados de desarrollo, para evitar la competencia con la plántula de cañahua. Las especies removidas fueron: Diente de león (*Texaco officinalis* Weber), cebadilla (*Bromus catharticus*, Valh), entre otros

✓ *Control de plagas y enfermedades.*

En el ciclo vegetativo de la planta, se encontraron pulgones (*Mizus persicae* y *macrosiphum euphorbiae*) en mínima cantidad puesto que como medida de prevención se asperjó un producto químico (Benlate 2 g/litro) para evitar daño a las plantas.

✓ *Cosecha*

La cosecha se realizó manualmente con una tijera podadora; se recogieron las plantas en bolsas de polietileno individualmente, con el propósito de no mezclar los granos de cañahua ni los tratamientos. La fecha de la cosecha fue determinada en función a la madurez filológica del cultivo, es decir cuando los granos de cañahua presentaban una resistencia a la presión de las uñas en más del 90% de la población de plantas.

Para la evaluación, se tomaron en cuenta todas las plantas de cada unidad experimental por separado. Posteriormente el material cosechado fue trasladado a un ambiente ventilado para su deshidratación y posterior pesado y trillado.

✓ *Trilla y limpieza de la semilla*

Posterior al secado de las plantas se pesaron las mismas en una balanza electrónica. Luego se procedió al conteo de las ramificaciones y a la trilla de las plantas. Una vez limpios los granos, se pesó y etiquetó con sus respectivas identificaciones para su correspondiente registro.

3.1.4.3 Variables de respuesta

Porcentaje de sobrevivencia.

Se determinó a los 44 días después de la siembra por medio del conteo de todas las plántulas que sobrevivieron.

Altura de planta

Se midió la longitud del tallo principal desde la base de la planta hasta el apice, durante la madurez fisiológica y en todas las plantas.

Numero de ramificaciones.

Para tal efecto, se realizó el conteo de las ramificaciones desde la base del tallo hasta el tercio medio superior en todas las plantas

Peso de planta (g).

Una vez cosechadas las plantas y luego de pasar por un proceso de deshidratación, se realizó el pesaje de las mismas excepto su raíz, en todas las plantas.

Peso de broza (g).

Luego de seleccionar los granos, se pesó el resto (tallos, ramas, hojas y perigonios) para determinar la broza.

Peso de grano por planta después de la cosecha (g).

Una vez separado el grano de la broza mediante la trilla, tamizado y venteado, se realizó el pesado respectivo en gr/planta.

Numero de granos caídos por planta antes de la cosecha

Esta labor fue realizada durante la madurez fisiológica, antes de la cosecha de las plantas, mediante la acción mecánica de las manos, es decir, dando cuatro a cinco golpes suaves en toda la parte superior de la planta para inducir la caída de los

granos en un recipiente previamente elaborado y separando, cada una, en sobres de papel con su respectiva identificación. Luego, por conteo, se determinó el número de granos caídos de cada una de las macetas.

Identificación de plantas con características morfológicas diferentes

Ésta actividad resulta de la observación constante de todas las plantas durante todo su desarrollo vegetativo, específicamente en su morfología:

✓ Altura de planta

Se observaron los cambios en plantas de mayor y menor altura respecto al tratamiento testigo.

✓ Tallo

De la misma manera, se observó las modificaciones existentes en el tallo, a nivel del cuello como en el tercio medio superior de la planta.

✓ Hojas

Se observó los cambios que existieron en el desarrollo de las hojas.

✓ Inflorescencia

En esta etapa se observó la estructura del tipo panoja.

✓ Protección de los granos

Una vez que las plantas alcanzaron su madurez fisiológica se observó en la estructura de la panoja de todas las ramas la protección de granos de la planta de cañahua.

3.1.4.4 Procesamiento del análisis de datos

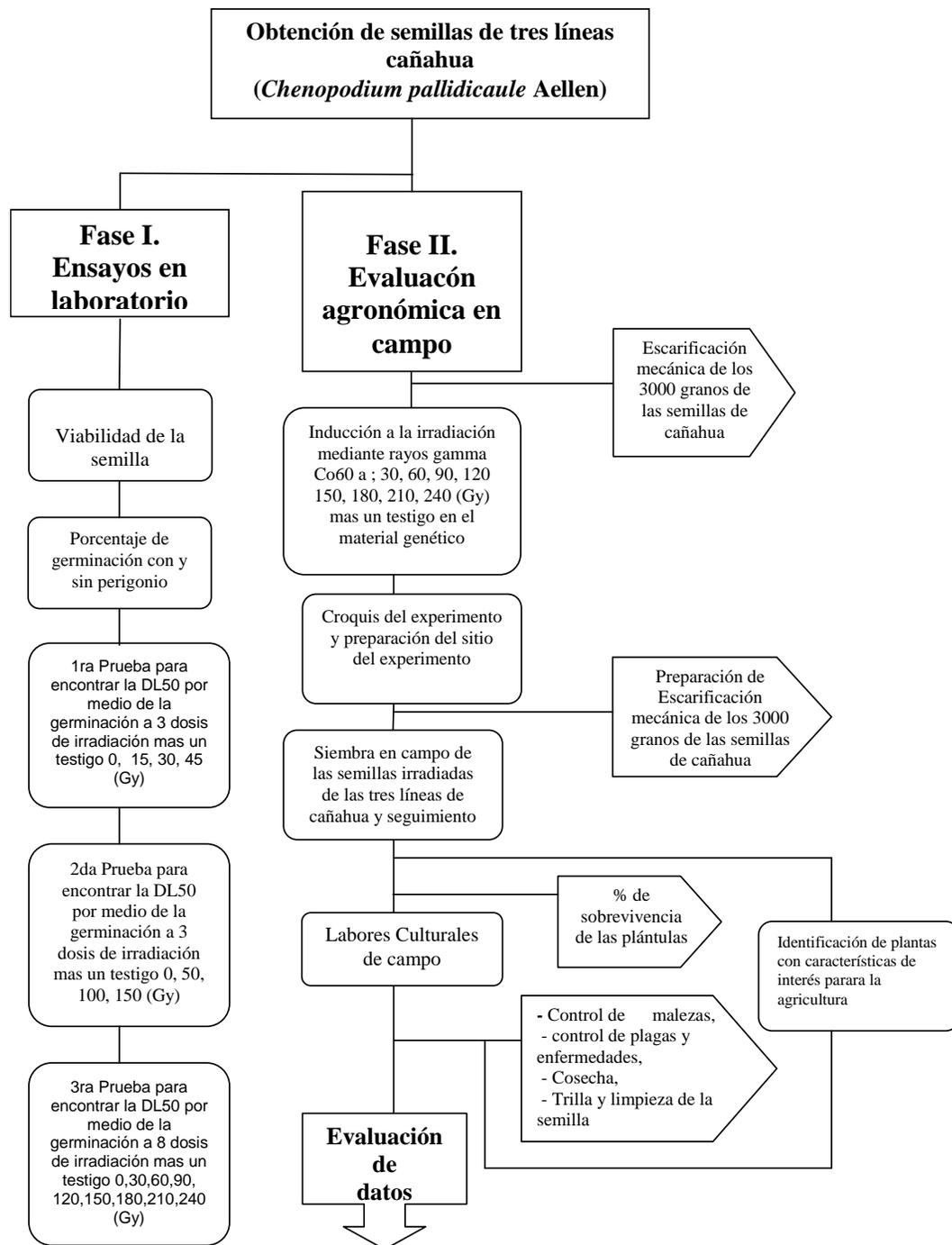


Figura 6: Flujo grama de la investigación realizada
Fuente: Elaboración propia

IV. SECCIÓN PROPOSITIVA

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante el presente ensayo. En primer lugar se describen los ensayos realizados en laboratorio, especialmente con pruebas de germinación en semillas de las tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen), utilizadas para el estudio e irradiadas con Cobalto 60 para determinar la viabilidad y la dosis letal media.

La segunda parte describe la evaluación agronómica en campo de las mismas semillas, con la finalidad de encontrar la dosis letal media y describir las características morfológicas de las plantas irradiadas.

4.1. Análisis de resultados

4.1.1 Fase I. Ensayos de laboratorio (dosimetría)

Las semillas de las tres líneas de cañahua, fueron irradiadas en los laboratorios del Hospital de Clínicas (Zona Miraflores) en la ciudad de la Paz, utilizando una Bomba de Cobalto⁶⁰. Posteriormente se realizaron pruebas de viabilidad en los laboratorios del Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN) en Viacha.

4.1.1.1 Prueba de viabilidad de la semilla

Para tener seguridad de la calidad del material genético a ser irradiado, se realizó una prueba de germinación de la semilla.

En una primera prueba, las 30 semillas de cañahua sembradas en cajas petri de las tres líneas de cañahua, tuvieron un mismo comportamiento en cuanto a la germinación, es decir que, de 30 semillas germinaron 29, vale decir 96.6% de germinación.

Cuadro 9: Porcentaje de viabilidad de semilla de las tres líneas de cañahua (Lasta rosada, anaranjada, rosada) a 15 horas de evaluación.

Líneas de cañahua	Nº total de granos	Nº de granos germinadas	% semillas germinadas
Lasta rosada,	10	10	100
Lasta anaranjada y	10	9	90
Saihua rosada	10	10	100

Fuente: Elaboración propia

En una segunda prueba, se sembraron semillas con y sin perigonio. Ambos tratamientos tuvieron el mismo comportamiento, es decir, de las 30 semillas, germinaron los 30 sin excepción concluyendo que el porcentaje de germinación es del 100%.

Cuadro 10: Porcentaje de germinación en granos con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua

Líneas de cañahua	Cantidad de semillas	Total de semillas germinadas	% semillas germinadas
Lasta rosada	30	30	100
Lasta anaranjada	30	30	100
Saihua rosada	30	30	100

Fuente: Elaboración propia

Medición de la altura de planta durante el proceso de germinación

Durante la evaluación se pudo evidenciar que no todos germinaron en un mismo tiempo, es decir que algunos germinaron antes y otros después. Para la comparación de estos tiempos escalonados, se realizó mediciones como altura de planta, longitud de raíz y peso de planta como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 11: Altura de planta en tres líneas de cañahua durante la etapa de germinación

Líneas de cañahua	Altura de planta (mm)	
	Con perigonio	Sin perigonio
Lasta rosada	16.7	20.7
Lasta anaranjada	16.7	18.7
Saihua rosada	18.0	18.7

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que las semillas sin perigonio alcanzan mayor altura de planta respecto a las con perigonio, lo cual puede atribuirse simplemente a la envoltura de la semilla que pudo haber retrasado el crecimiento.

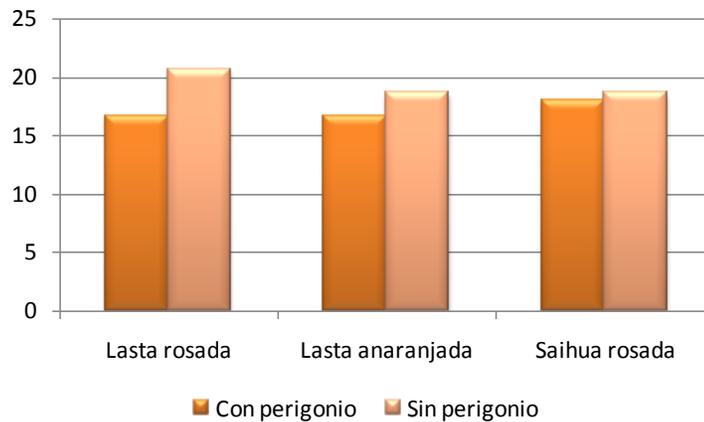


Figura 7: Altura de planta con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua

Es preciso aclarar que la evaluación de estas variables tuvo el objetivo de determinar con la mayor precisión posible, las semillas o las líneas a elegir para ser irradiadas posteriormente.

Medición de la longitud de la raíz durante el proceso de germinación

En el caso de longitud de raíz, se pudo evidenciar que las que no tienen protección en el grano (perigonio) tienen mejor desarrollo radicular.

Cuadro 12: Longitud de raíz en tres líneas de cañahua durante la etapa de germinación

Líneas de cañahua	Longitud de raíz (mm)	
	Con perigonio	Sin perigonio
Lasta rosada	33.8	36.4
Lasta anaranjada	23.7	29.5
Saihua rosada	30.7	33.3

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, se puede apreciar que las semillas sin perigonio alcanzan mayor longitud radicular respecto a las con perigonio, lo cual puede atribuirse a la envoltura de la semilla que pudo haber retrasado el crecimiento.

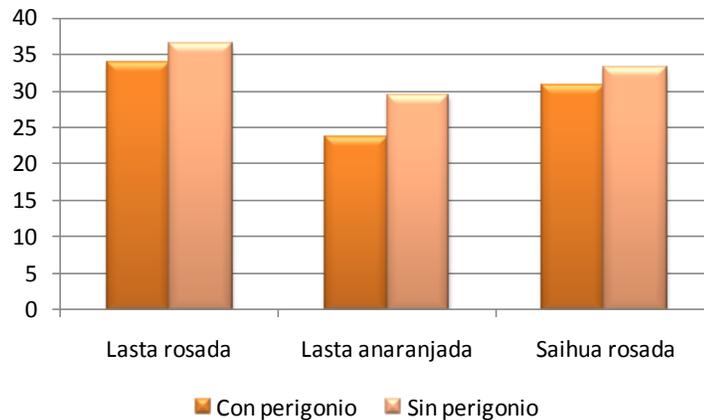


Figura 8. Longitud radicular en semillas con y sin perigonio de tres líneas de cañahua.

Medición del peso de la planta después del proceso de germinación

De esta prueba se pudo concluir las semillas escarificadas presentan un mayor peso de planta.

Cuadro 13: Peso de planta después de la etapa de germinación.

Líneas de cañahua	Peso de planta (g)	
	Con perigonio	Sin perigonio
Lasta rosada	0.004	0.005
Lasta anaranjada	0.004	0.004
Saihua rosada	0.003	0.005

Fuente: Elaboración propia

De nuevo, las semillas sin perigonio alcanzaron mayor peso de planta respecto a las que fueron sembradas con envoltura, atribuyendo estos resultados a que el perigonio retrasa el crecimiento de la planta.

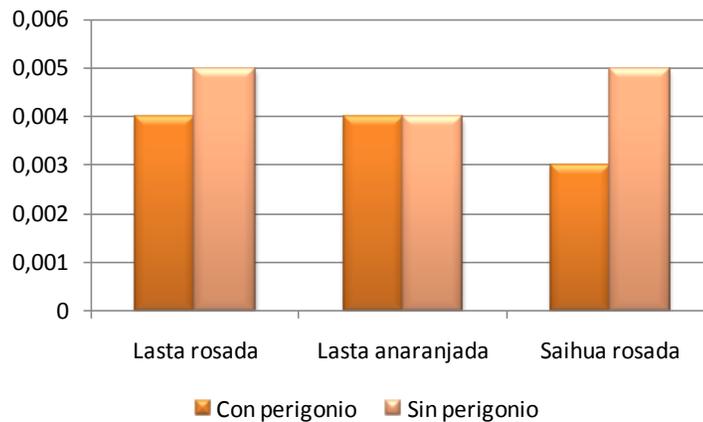


Figura 9: Peso de planta con y sin perigonio en las tres líneas de cañahua.

La prueba de viabilidad realizada para ayudar a determinar las líneas o semillas a utilizar para su irradiación, muestra que en las tres líneas, la escarificación facilita el crecimiento de la planta en altura, longitud de raíz como en peso. De esta forma se optó por continuar el ensayo utilizando las tres líneas de cañahua, por lo que posteriormente fueron escarificadas para someterlas a la irradiación con Cobalto 60.

4.1.1.2 Pruebas para la obtención de la Dosis Letal Media DL 50

Primera prueba. Germinación en cajas petri y tubos de ensayo

Primer ensayo para determinar la DL50 en semillas sometidas a una irradiación de 30, 45 y 60 (Grey) en cajas petri.

Conocida la viabilidad de las semillas con los anteriores ensayos, se iniciaron las primeras pruebas para determinar la DL 50, luego de someterlas a una radiación de 30, 45 y 60 (Grey) en las tres líneas de cañahua.

Cuadro 14: Cantidad de semillas germinadas a diferentes dosis de irradiación en las tres líneas de cañahua para encontrar la (DL 50).

Líneas cañahua	Dosis de irradiación (Gy) y total de granos germinados						Cantidad de semillas utilizadas	Total semillas germinadas	% de Germinación
	1ra dosis (Gy)	Nº de semillas	2da dosis (Gy)	Nº de semillas	3ra dosis (Gy)	Nº de semillas			
Lasta rosada	30	15	45	15	60	15	45	45	100
Lasta anaranjada	30	15	45	15	60	15	45	45	100
Saihua rosada	30	15	45	15	60	15	45	45	100

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, un 100 % de las semillas colocadas en las cajas petri germinaron, por lo que se puede concluir que bajo estas dosis de irradiación con Cobalto 60 (30, 45 y 60 Gy), no existen diferencias.

Se tuvo la hipótesis de que al transcurrir del tiempo podría registrarse la mortalidad de las semillas irradiadas. Es por ello que se continuó con la observación de su crecimiento evaluando la altura de planta, longitud radicular y número de hojas, tal como se describe a continuación.

Medición de la altura de planta hasta la aparición de las primeras hojas

Del cuadro se puede apreciar que las tres líneas de cañahua tuvieron un crecimiento normal al cabo de diez días. Así mismo, no se encontró en esta etapa la DL50 en las líneas irradiadas.

Cuadro 15: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL 50 en mm

Dosis de irradiación	0 (Gy)	30 (Gy)	45 (Gy)	60 (Gy)
Lasta rosada	17.7	23.3	23.4	20.6
Lasta Anaranjada	15.4	20.8	17.8	14.1
Saihua Rosada	20.1	25.3	20.5	19.2

Fuente: Elaboración propia

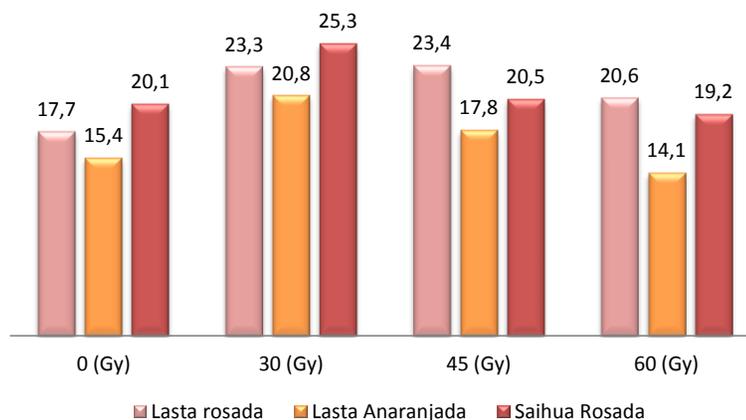


Figura 10: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

Medición de la longitud radicular hasta la aparición de las primeras hojas

En este caso, el cuadro muestra que las tres líneas de cañahua tuvieron un crecimiento normal al cabo de diez días.

Cuadro 16: Longitud de raíz (hasta las primeras hojas) para encontrar la DL 50 en mm

Dosis de irradiación	0 (Gy)	30 (Gy)	45 (Gy)	60 (Gy)
Lasta rosada	32.8	33.3	37.3	39.9
Lasta Anaranjada	28.8	41.3	31.1	33.9
Saihua Rosada	33.9	43.1	38.7	35.4

Fuente: Elaboración propia

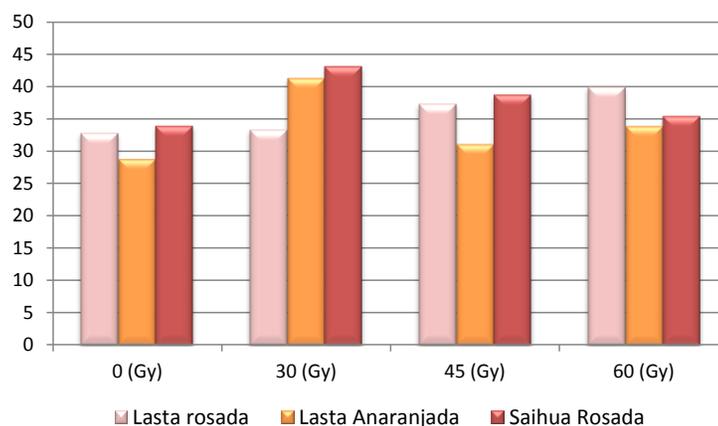


Figura 11: Longitud de raíz (hasta las primeras hojas) para encontrar la DL50.

Los anteriores cuadros y gráficos evidencian que no existe mortalidad en el desarrollo de la planta, medidos hasta los diez días después de la germinación o hasta la aparición de las primeras hojas verdaderas. Una primera conclusión es que las dosis de 30, 45 y 60 Gy no son letales para las semillas de las tres líneas de cañahua.

Segundo ensayo para determinar la DL50 en semillas sometidas a una irradiación de 30, 45 y 60 (Grey) en tubos de ensayo.

Paralelamente al anterior ensayo (dentro de las cajas Petri), se optó por realizar la misma prueba en tubos de ensayo y medios de cultivo Murashige and Skoog (MS). El cuadro muestra que existe un porcentaje de germinación del 100%, en las tres líneas de cañahua sometidas 30, 45 y 60 Gy no encontrándose la DL 50.

Cuadro 17: Porcentaje de germinación en semillas irradiadas a 30, 45 y 60 Gy

Líneas cañahua	Dosis de irradiación (Gy) y total de granos germinados								Cantidad de semillas utilizadas	Total semillas germinadas	% de Germinación
	Testigo	Nº de semillas	1ra dosis (Gy)	Nº de semillas	2da dosis (Gy)	Nº de semillas	3ra dosis (Gy)	Nº de semillas			
Lasta rosada	0	10	50	10	100	10	150	10	40	38	95
Lasta anaranjada	0	10	50	10	100	10	150	10	40	39	97,5
Saihua rosada	0	10	50	10	100	10	150	10	40	39	97,5

Fuente: Elaboración propia

Ya que no se encontró la DL50 en esta etapa se continuó la observación hasta los nueve días cuando aparecen las primeras hojas verdaderas para ver la posibilidad de que en este periodo se obtenga la DL50.

Medición de la altura de planta hasta la aparición de las primeras hojas

En este periodo no se observó mortalidad de las plantas, aunque sí se observó que la línea lasta anaranjada triplica su longitud respecto a las demás líneas, lo cual puede atribuirse a los elementos nutritivos de la solución.

Cuadro 18: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50 en mm

Dosis de irradiación	0 (Gy)	30 (Gy)	45 (Gy)	60 (Gy)
Lasta rosada	9,5	7,5	7,6	6,3
Lasta Anaranjada	28,8	41,3	31,1	33,9
Saihua Rosada	8,1	7,9	8,8	6,9

Fuente: Elaboración propia

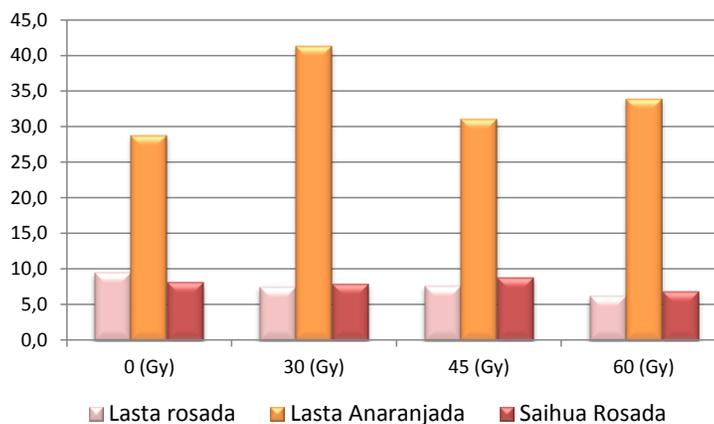


Figura 12: Altura de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

Medición de la longitud radicular hasta la aparición de las primeras hojas

La evaluación de la longitud de la radicular en las tres líneas de cañahua muestra un desarrollo normal de las mismas, alcanzando un promedio, de 43 mm.

Cuadro 19: Longitud de raíz hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

Dosis de irradiación	0 (Gy)	30 (Gy)	45 (Gy)	60 (Gy)
Lasta rosada	48,6	46,8	46,5	48,8
Lasta Anaranjada	57,1	34,3	46,4	43,6
Saihua Rosada	45,4	43,6	49,0	45,4

Fuente: Elaboración propia

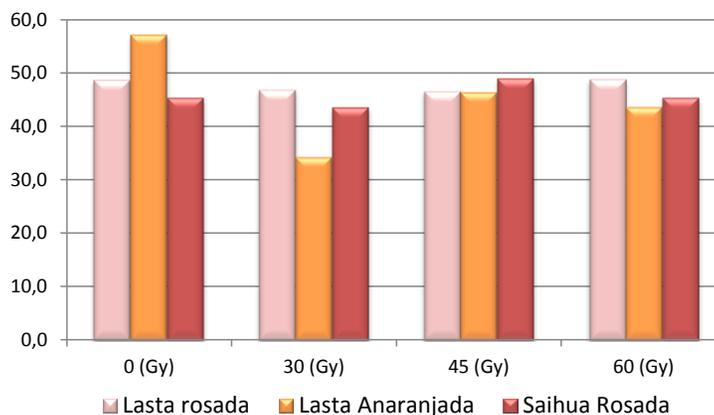


Figura 13: Longitud de raíz hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

Peso de planta hasta la aparición de las primeras hojas

Se puede decir que las tres líneas de cañahua tienen un peso relativamente bueno, los más sobresalientes en tener un mejor peso son lasta anaranjada a una dosis de 45 Gy.

Cuadro 20: Peso de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

Dosis de irradiación	0 (Gy)	30 (Gy)	45 (Gy)	60 (Gy)
Lasta rosada	1,38	1,38	1,38	1,38
Lasta Anaranjada	1,38	1,17	2,25	1,00
Saihua Rosada	1,14	1,13	1,63	1,00

Fuente: Elaboración propia

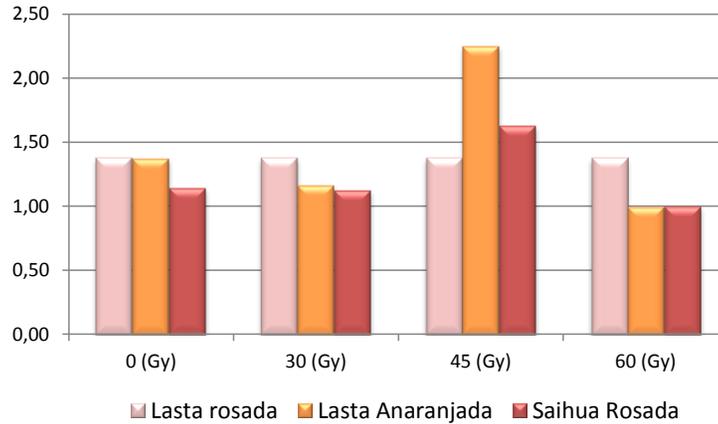


Figura 14: Peso de planta hasta las primeras hojas para encontrar la DL50

En resumen, podemos mencionar que no se obtuvieron los resultados esperados, para determinar la DL50, en ambos casos, es decir que las líneas de cañahua a diferentes niveles de irradiación presentaron un porcentaje de germinación del 100% en ambos casos.



Fotografía 3: Plantas con alturas diferentes.

Fuente: Llanos, 2013

Segunda prueba. Germinación en tubos de ensayo para determinar la DL 50 con dosis de irradiación (cobalto 60) de 0, 50, 100 y 150 Gy

Observando los resultados del cuadro, las semillas de cañahua de las tres líneas estudiadas y cultivadas en tubos de ensayo en un medio MS, germinaron en un

promedio de 97 %, por lo que se puede afirmar que con estas dosis de irradiación tampoco se llegó a determinar la DL50.

Cuadro 21: Prueba de germinación para encontrar la DL50 con dosis de 0, 50, 100 y 150 Gy

Dosis de irradiación	Número Repeticiones (vasos)	Líneas de cañahua		
		Lasta rosada	Lasta anaranjada	Saihua rosada
0 (Gy)	30	10	10	10
50 (Gy)	30	10	9	10
100 (Gy)	30	8	10	10
150 (Gy)	30	10	10	9
Total	-	40	40	40
Germinaron	-	38	39	39
% Semillas Germinadas	-	95	97,5	97,5

Fuente: Elaboración propia

Tercera prueba. Germinación en tubos de ensayo para determinar la DL 50 con dosis de irradiación (cobalto 60) de 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 Gy

Al no poder encontrar la DL50, se optó por irradiar ocho dosis además del testigo. La prueba contó con 216 semillas de las tres líneas de cañahua y 108 tubos de ensayo. La siembra se realizó en medio MS (agua destilada y agar), cada tubo contaba con 2 semillas, las dosis fueron: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 (Gy) y los tiempos de: 18.5; 36.5; 54.5; 72.5; 90.5; 108.5; 126.5; 144.5; minutos.

Cuadro 22: Prueba de germinación para encontrar la DL50 con dosis nueve dosis de irradiación

Dosis de irradiación	Líneas de cañahua y Cantidad de granos germinados						% germinación
	Lasta rosada	Germinaron	Lasta anaranjada	Germinaron	Saihua rosada	Germinaron	
0 (Gy)	8	8	8	8	8	8	100
30 (Gy)	8	4	8	8	8	8	83,3
60 (Gy)	8	8	8	0	8	8	66,7
90 (Gy)	8	8	8	8	8	4	83,3
120 (Gy)	8	8	8	4	8	4	66,7
150 (Gy)	8	8	8	8	8	8	100
180 (Gy)	8	8	8	0	8	8	66,7
210 (Gy)	8	8	8	0	8	8	66,7
240 (Gy)	8	8	8	8	8	0	66,7
Total	72	-	72	-	72	-	
Germinaron	-	68	-	44	-	56	
% germinación		94,4		61,1		77,7	
Promedio total						77,73	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el cuadro, el porcentaje de germinación de las nueve dosis irradiadas, incluyendo el testigo, se encuentra por encima del 66%. Con estos resultados no se puede concluir que la dosis letal media se encuentre en este rango de irradiación aplicado. Así mismo, el que tiene menor porcentaje de germinación es la línea lasta anaranjada, luego Saihua rosada. El de mayor porcentaje es la línea lasta rosada. Estos resultados corresponden a la observación de cinco días (120 horas).

Se realizó el seguimiento de las plántulas durante 10 días más, con el fin de observar si existiría mortandad y las diferencias que existen entre ellas bajo estos niveles de irradiación.

Los resultados en porcentaje de germinación, no tuvieron mucho cambio salvo que algunas plantas germinaron en el transcurso del tiempo, como ser en la línea lasta

anaranjada en la dosis 60 y 180 (Gy), y Saihua rosada en la dosis de 240 (Gy). Ésta línea incrementó sus porcentajes de germinación de 61.1% a 83.3% y en la línea Saihua rosada de 77.7% subió a 83.3%, pero no sobrepasaron a la línea lasta rosada (con 94.4%).

Las características de crecimiento en el periodo de 16 días, de las dosis de irradiación y líneas de cañahua, se las detalla a continuación:

A 0 Gy las tres líneas mostraron buen tamaño con sus dos hojas verdaderas y, todas estas con un promedio en altura de 3.0 cm.

A comparación del testigo, todas las plántulas tienen casi el mismo comportamiento, a excepción de algunas líneas de cañahua y dosis de irradiación, contando la mayoría con sus dos hojas verdaderas.

Se observaron cambios morfológicos, como en el caso, de la dosis 60 (Gy) en la línea lasta anaranjada, por su forma de crecimiento; el tallo parece rastrero por encontrarse a nivel de medio de cultivo y no así alongándose en altura, mientras que otras plántulas de la línea lasta anaranjada en las dosis de irradiación 90 y 120 Gy, muestran un mayor desarrollo del tallo a comparación testigo.

4.1.2 Fase II. Evaluación agronómica en ambiente protegido

Al no tener éxito en la determinación de la dosis letal media, se optó por irradiar las semillas con las ocho dosis probadas anteriormente para la evaluación en campo (ambiente protegido) y de esta forma comenzar la observación de cambios en todo su ciclo vegetativo.

Las radiaciones ionizantes actúan en procesos como la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas, estimulando o reduciendo los mismos en dependencia de las dosis y las características biológicas del material que se utiliza. A continuación se detallan los resultados alcanzados durante la evaluación de las tres líneas de cañahua irradiadas con nueve dosis (incluyendo el testigo) de Cobalto⁶⁰.

A los 7 días, después de la siembra, 97% germinaron, mostrando diferentes alturas, en el transcurso del tiempo hasta llegar a los 44 días. En ese lapso de tiempo, en algunos plantines, se observó una coloración rojiza en el tallo como en las hojas, a una dosis de 180 Gy en la línea Saihua rosada, mientras que en la línea lasta anaranjada a 60 Gy, mostraron una deshidratación en el tallo como en las hojas ocasionando la muerte de las mismas tal como se aprecia en las fotografías.



Fotografía 4: Coloración rojiza en el tallo y hojas de algunas plantas de la línea Saihua rosada durante la emergencia

Foto: Llanos, 2013



Fotografía 5: Deshidratación en plantas de la línea Lasta anaranjada

Foto: Llanos, 2013

4.1.2.1 Porcentaje de sobrevivencia de las semillas irradiadas a diferentes niveles de irradiación en las tres líneas de cañahua a los 44 días

El porcentaje promedio de sobrevivencia con las nueve dosis de irradiación en el ambiente protegido fue considerablemente alta con 78.14 %; este valor se asemeja al obtenido en la etapa de dosimetría en laboratorio en la que el porcentaje de germinación general (de todos los tratamientos) fue de 77,73 %, por lo que no se observan diferencias significativas.

Cuadro 23: Porcentaje de sobrevivencia a los 44 días con nueve dosis de irradiación en las tres líneas de cañahua.

Dosis de irradiación	Número	Líneas de cañahua			Debían emerger (Nº de plantas)	Emergieron (Nº de plántulas)	Semillas germinadas 100 %
	Repeticiones c/línea	Lasta rosada	Lasta anaranjada	Saihua rosada			
0 (Gy)	20	18	20	17	60	55	91,66
30 (Gy)	20	15	10	19	60	44	73,33
60 (Gy)	20	19	11	18	60	38	63,33
90 (Gy)	20	18	20	19	60	47	78,33
120 (Gy)	20	13	12	16	60	41	68,33
150 (Gy)	20	18	12	19	60	49	81,66
180 (Gy)	20	17	15	18	60	50	83,33
210 (Gy)	20	14	13	18	60	45	75,00
240 (Gy)	20	17	19	19	60	53	88,33
Promedio		82,8	73,3	90,6			78,14

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados muestran que la sobrevivencia de las líneas sometidas a diferentes dosis fue similar, por lo que no se puede llegar a afirmar que la DL 50 se encuentre en este rango.

Sin embargo, se observa que las dosis que muestran menor promedio de sobrevivencia al cabo de 44 días, son las de 60 y 120 Gy con 63.33 y 68.33% respectivamente. Mientras que el testigo y la dosis de 240 Gy muestran los más altos índices de sobrevivencia.

Por otro lado, la línea lasta anaranjada es la que menor sobrevivencia mostró al cabo de este periodo, en tanto que Saihua rosada tiene los índices más altos de sobrevivencia (90.6%).

El testigo (0 Gy) tiene un porcentaje de sobrevivencia elevado respecto a las demás tratamientos con 91.66 %.

El periodo general de emergencia tuvo una duración de 7 a 9 días, observando que más del 50% de las plantas emergieron en esta etapa.

Estos resultados contrastan lo reportado por Gómez *et al*, (s.f.), en el proceso de germinación en el tratamiento del testigo, sin irradiación, fue normal, alcanzando el 100% en 7 días, mientras que en las semillas irradiadas a una dosis de 150, 250 y 350 Gy, el proceso de germinación fue más lento, a quince días de la siembra se observó una buena germinación alrededor del 99% en todos los tratamientos, en quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd) variedad Pasankalla.

Por otro lado señala que los rayos gamma se postulan como el agente mutagénico más práctico al presentar mayor cantidad de anormalidades y menor nivel de mortalidad, indican, Rosero et al (s.f.)

Mamani (1994), que indica un número de días a la emergencia mayor en las líneas de lastas, fluctuando alrededor de 13 a 17 días, mientras que en las líneas saihuas sería de 12 a 15 días. A su vez Calle (1980), menciona que los días a la emergencia en cañahua fluctúan entre 12 a 13 días después de la siembra.

La escarificación mecánica puede explicar estos resultados, puesto que como se observó en las pruebas de viabilidad, las semillas sin perigonio crecen más rápido que las semillas con envoltura, que retrasan este proceso.

4.1.2.2 Altura de planta

El análisis de varianza realizado para el análisis esta variable, muestra un coeficiente de variación (CV) de 8,42 %, el cual se halla por debajo del 30% recomendado para este tipo de experimentos. Así mismo, indica la confiabilidad de los datos registrados (Calzada, 1982).

Por otro lado, en el caso de bloques, no se muestran diferencias significativas, por lo que se asume que las condiciones en el ambiente protegido fueron homogéneas. Esto fue posible gracias a las condiciones controladas con las que se contaba en el ensayo.

Cuadro 24: Análisis de varianza para la altura de planta

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig (0,05)
BLOQUE	3	1,41	0,47	0,19	0,9055	Ns
DOSIS	8	105,64	13,21	5,22	0,0001	**
LINEA	2	408,88	204,44	80,75	0,0001	**
DOSIS*LINEA	16	426,38	26,65	10,53	0,0001	**
Error	78	197,48	2,53			
Total	107	1139,8				
CV =8.42%	Media = 18,9 cm					

Fuente: Elaboración propia

Los demás factores muestran diferencias altamente significativas, así como la interacción entre las dosis de irradiación y líneas de cañahua. Esto indica que estos dos factores en estudio no son independientes respecto a la altura de planta, por lo cual se hizo necesario un análisis de efectos simples.



Fotografía 6: Altura de planta en la línea Saihua rosada

Foto: Llanos, 2013

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) al 5% de probabilidad, para la altura de planta en función a las dosis de irradiación, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 25: Prueba de Duncan para comparar la altura de planta en función a las dosis de irradiación con cobalto 60 (Co60), en el momento de cosecha.

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio de altura de planta (cm)	Duncan (5%)
60	20,57	a
30	19,81	a b
150	19,6	a b
120	19,27	a b c
90	19,08	b c d
240	18,58	b c d e
0	18,08	c d e
210	17,74	d e
180	17,34	e

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro muestra los promedios obtenidos de esta variable, observándose mayor altura de planta con la dosis de irradiación de 60 Gy (20,57 cm). Por el contrario, la menor altura de planta fue registrada con la dosis de 180 Gy (17,34 cm).

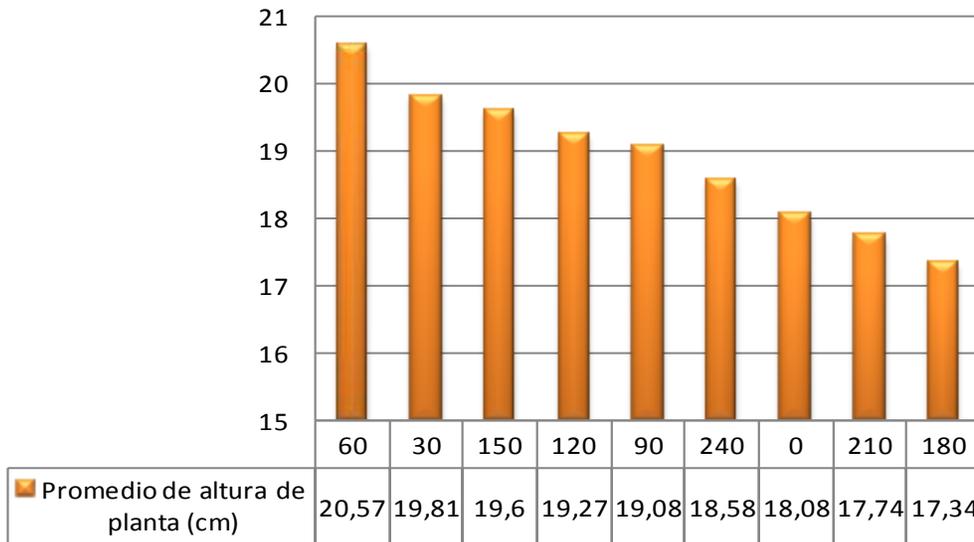


Figura 15: Altura de planta respecto a las dosis de irradiación.

En base a estos resultados se puede empezar a afirmar que la dosis irradiación 60 Gy influye en el crecimiento de la planta, probablemente debido al efecto que produce la irradiación. Al respecto A.J. Miah, M.A. Azam, L. Hakim y M.A. Mansur (1987), reportan que en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L), irradiado con rayos Gamma, también se obtienen los mismos efectos, es decir, mayor altura de planta, una caña más fuerte y alto contenido en proteínas.

Esto es corroborado por Rosero, *et al* (s.f.) La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), la población tratada con rayos gamma presentó mayores valores de longitud de altura de planta y altura primera ramificación.

Así mismo, Le Songdu (1985), reporta un desarrollo vigoroso de la planta de maní (*Arachis Hypogaeae* L.) irradiado a 50 Gy de Rayos Gamma, que además favorece su calidad de exportación.

En este caso, se observa que a dosis de irradiación, mayores a 90 Gy existe una tendencia a disminuir la altura. Así mismo, Ramírez, *et al* (1998), reporta que los niveles altos de irradiación provocan en el vegetal importantes cambios fisiológicos y bioquímicos, que conllevan a no favorecer la manifestación de los caracteres como el crecimiento de las plantas.

El siguiente cuadro muestra la prueba de Duncan para la variable altura de planta en función de las líneas de cañahua.

Cuadro 26: Prueba de Duncan comparar altura de planta en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.

Líneas de cañahua	Promedio de altura de planta (cm)	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	21,214	a
Lasta anaranjada (LA)	19,022	b
Lasta rosada (LR)	16,453	c

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la línea Saihua rosada tiene un mejor crecimiento respecto a la altura de planta alcanzada, logrando 21.21 cm en promedio, el cual es significativamente superior a las otras dos líneas.

Esto es corroborado por PROSUKO (2006) que reporta un crecimiento más rápido de la cañahua erecta Saihua respecto a las líneas lastas.

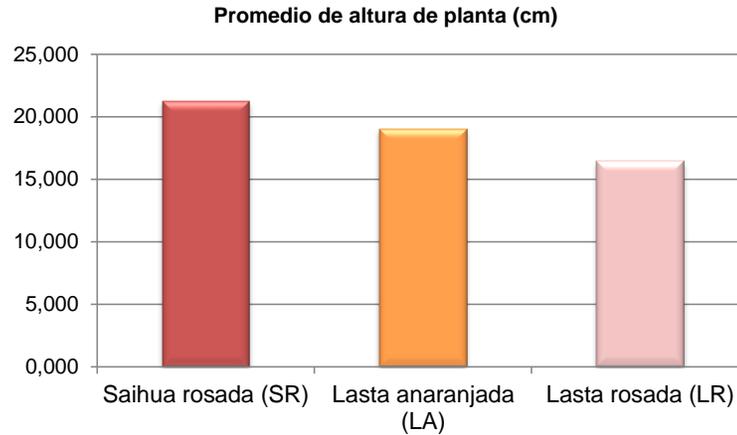


Figura 16: Comportamiento de la altura de planta con respecto a las líneas de cañahua

El análisis de la interacción dosis de radiación y línea de cañahua se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 27: Análisis de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación en la altura de planta.

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sign
Líneas en 0	2	31,70	16	6,26	0,00	**
Líneas en 30	2	2,00	1	0,40	0,67	ns
Líneas en 60	2	214,90	107	42,44	0,00	**
Líneas en 90	2	94,80	47	18,72	0,00	**
Líneas en 120	2	5,50	3	1,08	0,35	ns
Líneas en 150	2	91,80	46	18,12	0,00	**
Líneas en 180	2	44,40	22	8,76	0,00	**
Líneas en 210	2	204,10	102	40,31	0,00	**
Líneas en 240	2	146,20	73	28,87	0,00	**
Error	78	197,48	3			

Fuente: Elaboración propia

No se encuentran diferencias significativas entre el crecimiento de altura de planta de las líneas de cañahua dentro de las dosis de irradiación 30 y 120 (Gy).

El cuadro, de efecto simple indica que existen diferencias altamente significativas en el crecimiento en altura de planta de las líneas de cañahua dentro de las dosis de irradiación 0, 60, 90, 150, 180, 210 y 240 (Gy).

Los resultados encontrados permiten tener una idea clara acerca del comportamiento de las líneas de cañahua sometidas a diferentes dosis de irradiación, medidos a partir de su crecimiento en altura de planta.

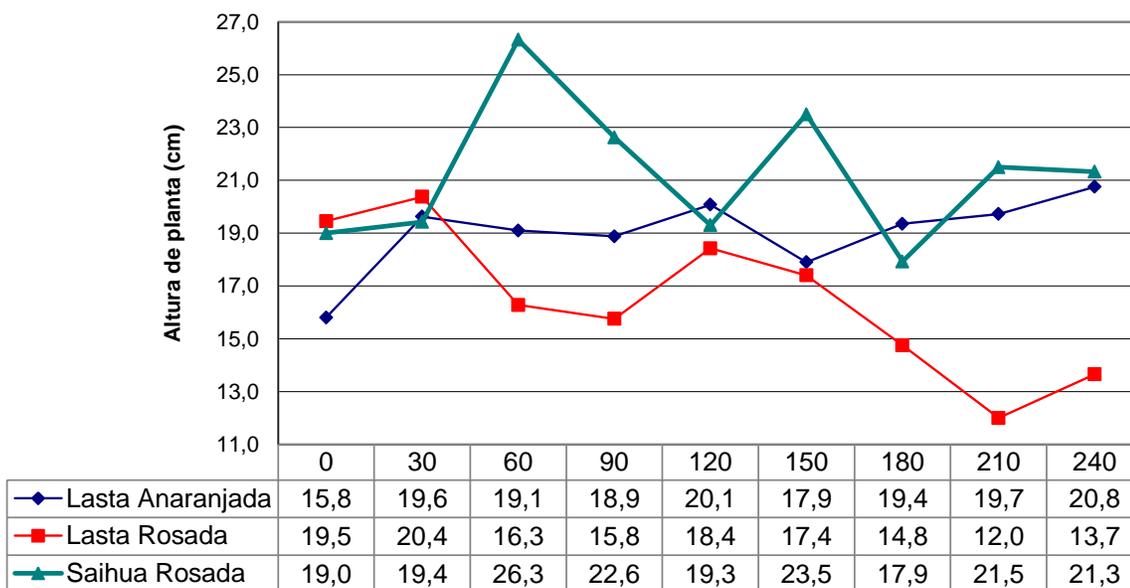


Figura 17: Interacción de Dosis de irradiación y Líneas de cañahua sobre la altura de la planta.

En el gráfico se observa que la línea Saihua rosada sin radiación tiene una altura de 19 cm, el cual se mantiene si se aumenta la dosis a 30 Gy. Sin embargo, hay un crecimiento significativo si se incrementa también la dosis a 60 Gy, el cual es superior a las demás líneas. En las demás dosis muestra un comportamiento irregular con altas y bajas entre 17 y 23 cm de altura

La línea lasta anaranjada sin tratamiento de irradiación tiene una altura de 15,8 cm, la cual es la más baja de todas, sin embargo, al aumentar la dosis a 30 Gy incrementa su altura a 19,6 cm. De ahí para adelante, al incrementar las dosis mantiene una altura que no supera el valor de 20,8 cm como se ve en la gráfica.

Analizando el comportamiento de la línea lasta rosada, se puede evidenciar que con la dosis 0 y 30 Gy mantienen una altura entre 19,5 y 20,4 cm, en tanto que al incrementar la dosis disminuye significativamente el crecimiento en altura de planta.

Al respecto, Robles *et al* (1975), indica que a mayores dosis de irradiación disminuye la manifestación de los caracteres como altura de planta, numero de hojas, etc., mientras que a niveles bajos de irradiación, las plantas tienden a favorecer el crecimiento debido al estímulo de los rayos gamma que son responsables de los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas.

Por último, a una dosis de 240 Gy, Saihua rosada y Lasta anaranjada tienen un promedio entre 21.32 y 20.75 cm respectivamente, superior a Lasta rosada que arroja un promedio de 13.65 cm y que incluso presenta menor altura que el testigo, con lo que se puede afirmar que esta dosis alta influyó negativamente en el crecimiento de esta línea.

Entonces, podemos mencionar que a 60 (Gy), la línea Saihua rosada, tuvo el mejor crecimiento en altura de planta a comparación de las otras dos líneas, Lasta anaranjada y Lasta rosada.

4.1.2.3 Peso de planta

El coeficiente de variación es bajo, lo cual indica la confiabilidad de los datos. No se encuentran diferencias significativas entre los bloques, sin embargo, se observan diferencias altamente significativas entre las dosis de irradiación, las líneas de cañahua y en la interacción Dosis por línea. Lo último indica la necesidad de realizar un análisis de efectos simples para ver las diferencias.

Cuadro 28: Análisis de varianza para peso de planta (g)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
BLOQUE	3	0,07	0,02	0,13	0,9436	ns
DOSIS	8	7,92	0,99	5,24	0,0001	**
LINEA	2	25,41	12,71	67,3	0,0001	**
DOSIS*LINEA	16	33,59	2,1	11,12	0,0001	**
Error	78	14,73	0,19			
Total	107	81,72				

CV =19.46%

Media = 2.23

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para peso de planta en función a las dosis de irradiación, se muestran en el siguiente.

Cuadro 29: Prueba de Duncan para comparar el peso de planta (materia seca) en función a las dosis de irradiación en el momento de la cosecha.

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio en peso de planta (g)	Duncan 5 %
60	2,750	a
240	2,650	a
210	2,275	b
30	2,167	b
0	2,150	b
90	2,133	b
150	2,092	b
180	1,958	b
120	1,917	b

Fuente: Elaboración propia

Se puede afirmar que con las dosis de 60 y 240 Gy se obtuvieron los mejores resultados con una media de 2.75 y 2.65 g por planta que son significativamente superiores a los demás tratamientos.

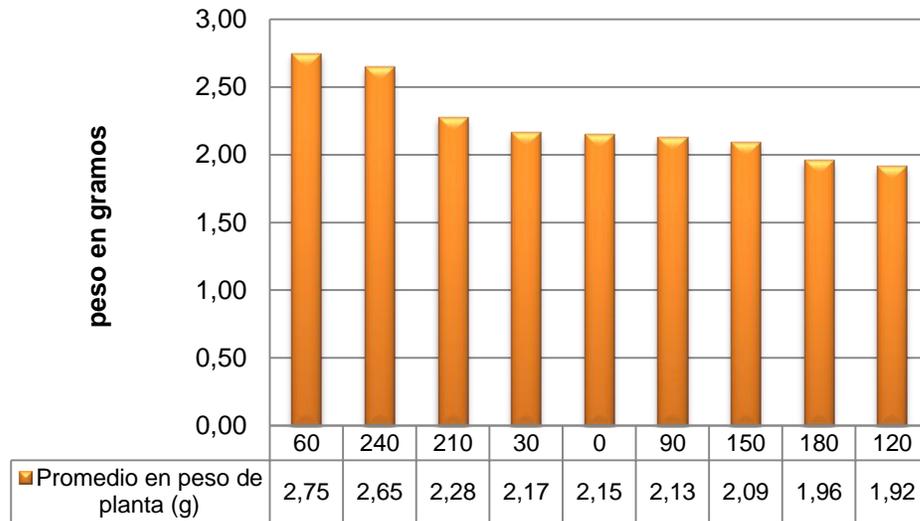


Figura 18. Peso de planta de cañahua con respecto a las dosis de irradiación.

Al parecer las dosis de irradiación de 60 y 240 Gy posibilitaron el incremento en el peso de las plantas al promover un crecimiento más vigoroso de las mismas, tal como sucede en el cultivo de arroz irradiado que desarrolla mejor en altura de planta, cañas más resistentes, hojas largas y mayor productividad reportado por Miah (1987)

La prueba de Duncan que compara el peso de planta de acuerdo con las líneas de cañahua estudiadas se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 30: Prueba de Duncan para comparar peso de planta en función a las líneas de cañahua

Líneas de cañahua	Promedio en peso de planta (cm)	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	2,8778	a
Lasta anaranjada (LA)	2,1111	b
Lasta rosada (LR)	1,7083	c

Fuente: Elaboración propia

Este análisis permite evidenciar la línea Saihua rosada es la que mayor peso de planta obtuvo, siendo significativamente superior a las demás líneas. Por el contrario, lasta rosada presenta los promedios más bajos.

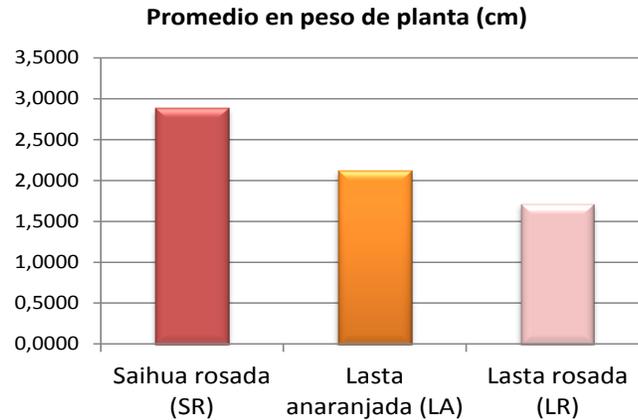


Figura 19: Peso de planta con respecto a las líneas de cañahua

El análisis de efectos simples para la interacción dosis de irradiación y línea de cañahua respecto al peso de planta, se muestra en el siguiente análisis de varianza. En el cuadro se observan diferencias altamente significativas el entre peso de planta para líneas de cañahua dentro las dosis de irradiación 0, 60, 90, 150, 180, 210 y 240 (Gy). Por el contrario, no existe significancia para las dosis 30 y 120 gray.

Cuadro 31: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación en peso de planta.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Líneas en 0	2	5,40	2,72	14	0,00	**
Líneas en 30	2	0,80	0,40	2	0,13	Ns
Líneas en 60	2	13,00	6,48	34	0,00	**
Líneas en 90	2	9,70	4,84	26	0,00	**
Líneas en 120	2	0,50	0,26	1	0,25	Ns
Líneas en 150	2	2,40	1,19	6	0,00	**
Líneas en 180	2	3,70	1,83	10	0,00	**
Líneas en 210	2	10,20	5,11	27	0,00	**
Líneas en 240	2	13,30	6,67	35	0,00	**
Error	78	14,73	0,19			

Fuente: Elaboración propia

La siguiente gráfica permite analizar mejor el cuadro anterior. Se puede que apreciar la línea Saihua rosada es la mejores promedios tiene respecto a las demás líneas. Sin embargo, con la dosis aplicada de 60 Gy obtiene su máximo valor situándose en 4,2 gramos por planta. Con dosis superiores, el peso de planta en esta línea baja hasta situarse entre 2,2 y 3,2 gramos.

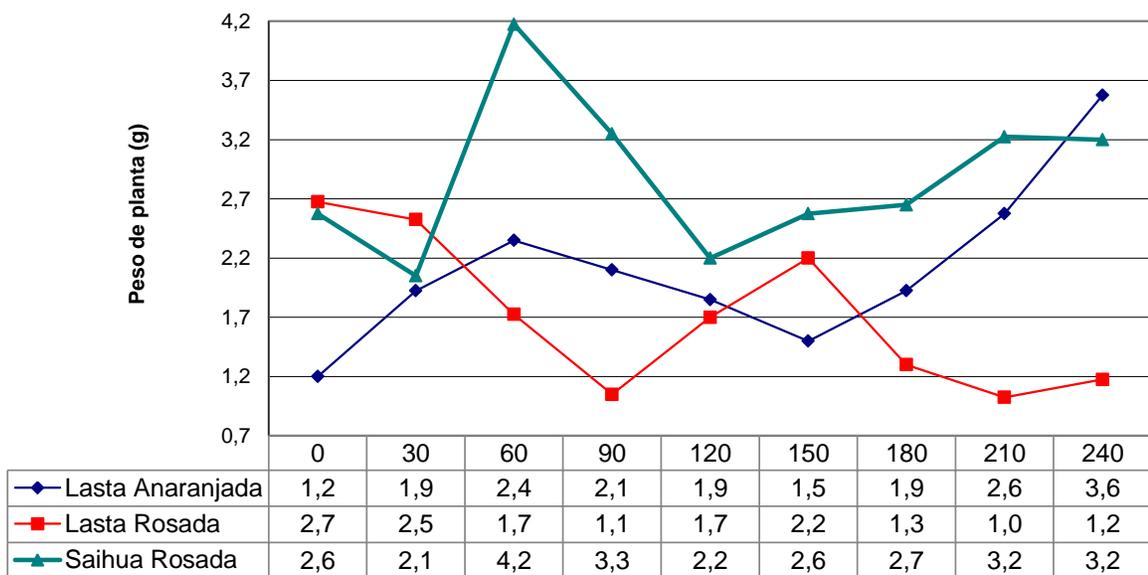


Figura 20: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para la variable peso de planta.

Respecto a la línea lasta rosada, se observa que el tratamiento testigo es el que mayor peso de planta adquiere. Al irradiar esta línea, los promedios descienden constantemente, y son los más bajos incluso respecto de las otras líneas.

La línea lasta anaranjada sube en peso de planta al incrementar la irradiación de 0 a 60 Gy, a partir del cual, al irradiar con mayores dosis el peso de planta disminuye hasta la dosis 150 Gy. Desde esta dosis hasta la más alta, al parecer el promedio en peso de planta sube hasta 3,6 gramos en 240 Gy.

En síntesis se podría decir que las líneas de cañahua, tienen diferentes comportamientos a las diferentes dosis de irradiación, siendo los más resaltantes la línea Saihua rosada que alcanza un mayor peso a comparación de las otras dos líneas, la línea lasta rosada en las dosis de 90 y 210 (Gy) cuentan con los promedios más bajos incluso respecto del testigo 0 (Gy). La línea lasta anaranjada va en incremento a comparación del testigo a cualquier dosis de irradiación y más aún alcanza en la última dosis su mayor peso de planta.

4.1.2.4 Número de ramificaciones

El CV se halla por debajo de 30% lo cual indica que los resultados experimentales son confiables (Calzada, 1982). No se muestran diferencias significativas para bloques, en cambio los factores dosis, línea y la interacción de ambos muestran diferencias altamente significativas. La interacción muestra que estos dos factores en estudio no son independientes por lo cual se hizo necesario realizar el análisis de efectos simples.

Cuadro 32: Análisis de varianza para número de ramificaciones

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
BLOQUE	3	0,17	0,06	0,3	0,8284	ns
DOSIS	8	13,51	1,69	8,86	0,0001	**
LINEA	2	23,19	11,6	60,81	0,0001	**
DOSIS*LINEA	16	26,22	1,64	8,59	0,0001	**
Error	78	14,87	0,19			
Total	107	77,96				

CV =8,49%

Media = 5,14

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el numero de ramificaciones en función a las dosis de irradiación, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 33: Prueba de Duncan para comparar el número de ramificaciones de planta en función a las dosis de irradiación en el momento de cosecha.

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio en numero de ramificaciones	Duncan 5 %
60	5,583	a
150	5,533	a
120	5,483	a
90	5,225	a b
30	5,225	a b
0	5,050	b
240	5,000	b
180	4,633	c
210	4,542	c

Fuente: Elaboración propia

Al nivel de irradiación 60, 150 y 120 Gy tuvieron mayor ramificación respecto a las dosis 180 y 210 Gy que son las dosis más altas, pero que presentan los menores promedios de ramificación. Al respecto Arizaca (2003), estudiando la irradiación en cultivo de papa reporta que la aplicación de mayores niveles de irradiación, determina también una menor formación de brotes.

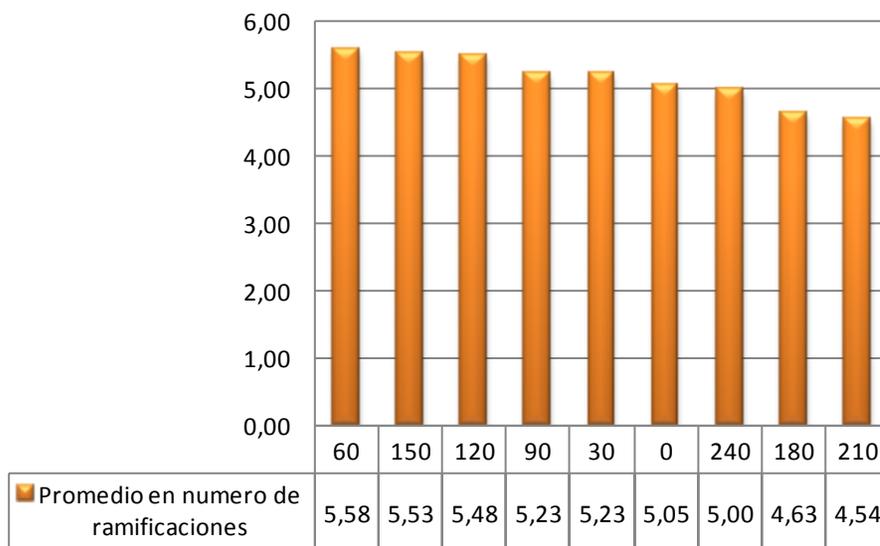


Figura 21: Número de ramificaciones con respecto a las dosis de irradiación.

Se observa además que cinco dosis de irradiación presentan mayor número de ramificaciones, mientras que dos dosis (180 y 210 Gy) están por debajo de forma significativa. Al respecto Bouriquet y Cuovez (1967, mencionados por Arizaca,

2003), demostraron que a bajas dosis de irradiación promueven una estimulación en la formación de brotes de *Anthurium andrreanum*.

La prueba de Duncan para evaluar el número de ramificaciones generadas en las tres líneas de cañahua, se describe en el siguiente cuadro.

Cuadro 34: Prueba de Duncan para comparar número de ramificaciones en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.

Líneas de cañahua	Promedio en número de ramificaciones	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	5,68	a
Lasta anaranjada (LA)	5,20	b
Lasta rosada (LR)	4,55	c

Fuente: Elaboración propia

La línea Saihua rosada tuvo un mejor comportamiento respecto al número de ramificaciones de planta, siendo significativamente superior a las demás. Por otro lado, lasta rosada es la que menos ramificaciones tiene de las tres.

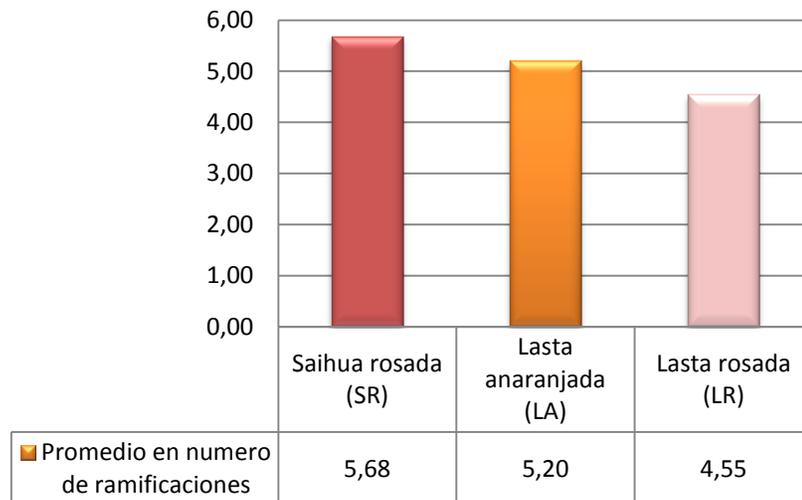


Figura 22: Número de ramificaciones con respecto a las líneas de cañahua.

En el cuadro de efectos simples, se muestra que no se encuentran diferencias significativas entre el número de ramificaciones de planta de las líneas de cañahua

dentro de las dosis de irradiación 30 y 180(Gy), en tanto que en el resto, las diferencias son altamente significativas.

Cuadro 35: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para número de ramificaciones.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Líneas en 0	2	2,20	1,090	5,716	0,005	**
Líneas en 30	2	0,40	0,183	0,957	0,389	ns
Líneas en 60	2	13,00	6,506	34,118	0,000	**
Líneas en 90	2	4,20	2,118	11,105	0,000	**
Líneas en 120	2	3,60	1,801	9,444	0,000	**
Líneas en 150	2	6,50	3,256	17,075	0,000	**
Líneas en 180	2	0,60	0,323	1,696	0,190	ns
Líneas en 210	2	6,00	2,986	15,659	0,000	**
Líneas en 240	2	12,90	6,443	33,786	0,000	**
Error	78	14,87	0,191			

Fuente: Elaboración propia

La gráfica nos permite tener una idea clara acerca del comportamiento en número de ramificaciones de las tres líneas de cañahua en cada dosis de irradiación.

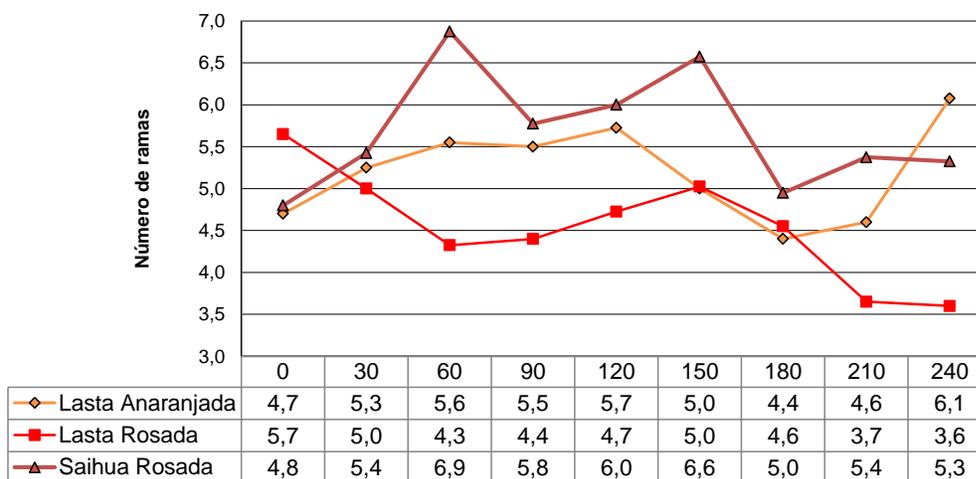


Figura 23: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua respecto al número de ramificaciones por planta.

Los resultados muestran que las tres líneas de cañahua, tienden a tener diferentes comportamientos a diferentes dosis de irradiación. La línea Saihua rosada muestra mayor número de ramificaciones a partir de la dosis de 30 Gy respecto al testigo.

Así mismo, con la radiación de 60 Gy alcanza el mayor número de ramas, a partir del cual tiende a bajar especialmente en las dosis más altas. No obstante, también se aprecia que el menor número de ramas se obtiene con la dosis testigo, a 0 (Gy) con 5.65 unidades.

La línea lasta anaranjada aumenta su ramificación con la radiación de 30 a 120 Gy, a partir del cual se observa un descenso. Sin embargo, se reporta mayor número de ramas en la dosis de 240 Gy.

Nuevamente, la línea lasta rosada muestra un efecto negativo frente a la irradiación, es decir, que el tratamiento testigo (sin radiación) muestra mayor ramificación respecto a los demás tratamientos.

4.1.2.5 Peso de broza

El Coeficiente de variación cuenta con 20.8 % lo cual indica que los resultados experimentales son confiables (Calzada, 1982). No se muestran diferencias significativas para bloques, por lo que es posible afirmar que las condiciones del área de trabajo fueron homogéneas.

Cuadro 36: Análisis de varianza para peso de broza (g)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
BLOQUE	3	0,000	0,000	0,020	0,997	ns
DOSIS	8	2,570	0,320	3,250	0,003	**
LINEA	2	8,690	4,340	43,970	0,000	**
DOSIS*LINEA	16	15,100	0,940	9,550	0,000	**
Error	78	7,710	0,100			
Total	107	34,080				
CV =20,8%	Media = 1,5 (g)					

Fuente: Elaboración propia

Se observa además diferencias altamente significativas entre líneas, dosis de irradiación y la interacción Dosis de irradiación por líneas de cañahua. Esto indica

que estos dos factores en estudio no son independientes para la variable peso de broza, por lo cual es necesario realizar el análisis de efectos simples.

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), para peso de broza de planta en función a las dosis de irradiación, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 37: Prueba de Duncan para comparar peso de broza de planta en función a las dosis de irradiación

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio en peso de broza (g)	Duncan 5 %
60	1,858	a
240	1,633	a b
150	1,575	b
90	1,550	b
0	1,458	b
180	1,400	b
30	1,383	b
210	1,375	b
120	1,358	b

Fuente: Elaboración propia

El cuadro, muestra que a la dosis de 60 Gy con 1.85 g de peso de broza, es el mejor tratamiento encontrado puesto que este valor es significativamente superior a los demás tratamientos, excepto en la dosis de 240 Gy.

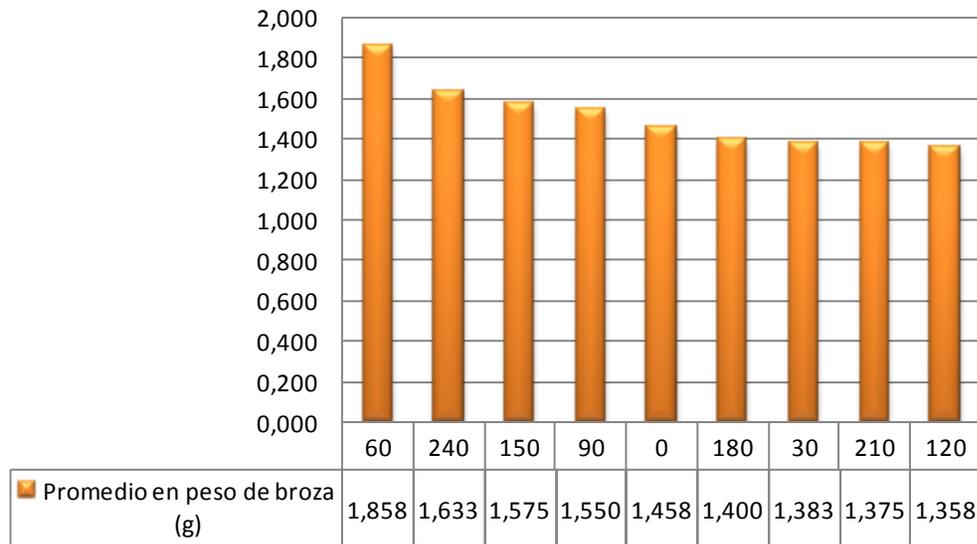


Figura 24: Peso de broza con respecto a las dosis de irradiación.

Al respecto, Le Songdu (1985) muestra en el cultivo de maní (*Arachis Hipogea L.*) un desarrollo vigoroso de la planta irradiada a 50 Gy. Así mismo, Miah et al (1987) reportan mejores características como cañas más resistente, hojas largas, amplias y levantadas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) irradiados con rayos Gamma.

La prueba de Duncan para comparar el peso de broza de las tres líneas de cañahua se muestra a continuación.

Cuadro 38: Prueba de Duncan para comparar peso de broza en función a las líneas de cañahua

Líneas de cañahua	Promedio en peso de broza (g)	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	1,875	a
Lasta anaranjada (LA)	1,472	b
Lasta rosada (LR)	1,183	c

Fuente: Elaboración propia

La línea Saihua rosada tuvo un mejor comportamiento en promedio de peso de broza con 1.8 g, mientras las otras dos líneas se encuentran con un promedio de 1.5 y 1.2 g respectivamente. Estas diferencias son significativas para las tres líneas

y podrían explicarse por las características fenotípicas y genotípicas propias de las líneas estudiadas. Al respecto, Lescano et al (1994), mencionados por Marín (2002), afirma que los ecotipos Saihua siempre son superiores a los ecotipos lasta en biomasa de hojas.

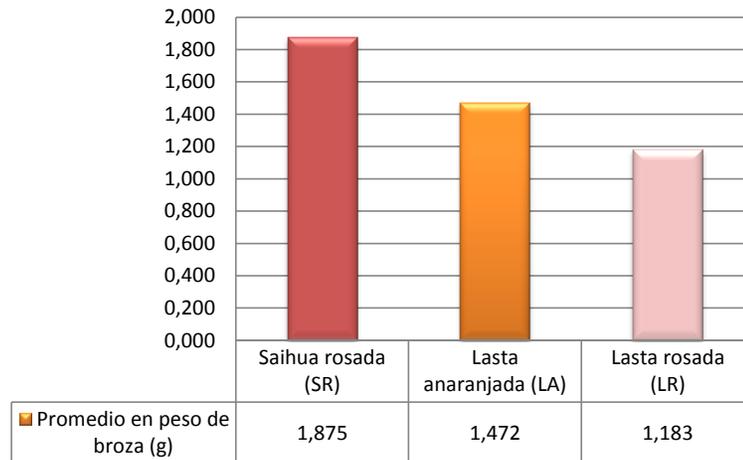


Figura 25. Comportamiento de peso broza de planta con respecto a las Líneas de cañahua.

El análisis de varianza para la interacción se muestra en el siguiente cuadro. El análisis de efecto simple indica que existen diferencias altamente significativas entre peso de broza de planta de las líneas de cañahua dentro de las dosis de irradiación 0, 60, 90, 150, 180, 210 y 240 (Gy); no se encuentran diferencias significativas entre peso de broza de altura de planta de las líneas de cañahua dentro de las dosis de irradiación 30 y 120(Gy).

Cuadro 39: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para peso de broza.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Líneas en 0	2	1,9	0,951	9,622	0,000	**
Líneas en 30	2	0,1	0,063	0,641	0,530	ns
Líneas en 60	2	6,4	3,176	32,138	0,000	**
Líneas en 90	2	6,5	3,248	32,864	0,000	**
Líneas en 120	2	0,2	0,091	0,919	0,403	ns
Líneas en 150	2	1	0,503	5,085	0,008	**
Líneas en 180	2	1,2	0,593	5,996	0,004	**
Líneas en 210	2	2,2	1,098	11,106	0,000	**
Líneas en 240	2	4,4	2,176	22,019	0,000	**
Error	78	7,71	0,099			

Fuente: Elaboración propia

La gráfica del análisis de efectos simples nos permite visualizar mejor estos resultados. En principio se puede apreciar que la línea Saihua rosada tiene mayores niveles de peso de broza respecto a las demás líneas. Esta línea además presenta los mayores promedios en las dosis de irradiación de 60 y 90 Gy. A dosis mayores a 90 Gy, el peso de broza tiende a disminuir constantemente, aunque en niveles cercanos al testigo.

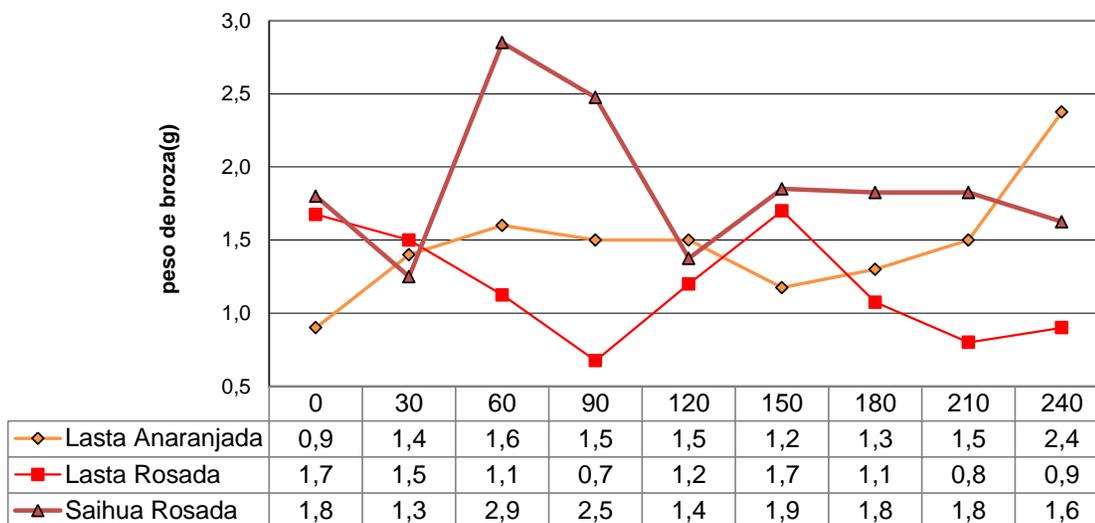


Figura 26: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para peso de broza

También se observa que las tres líneas tienen en niveles de peso de broza similares a la dosis de 30 Gy, con la diferencia de que la línea lasta rosada va en constante descenso conforme se incrementan las dosis de irradiación. La radiación no favorece el incremento en peso de esta línea, puesto que el testigo tiene el mejor promedio.

En la dosis 60 (Gy) la línea lasta anaranjada alcanza el mayor peso de broza, a partir del cual tiende a disminuir el peso si se incrementa la radiación. No obstante, se aprecia un mayor peso con la dosis más alta de 240 Gy. La radiación sobre esta línea permite incrementar su peso, puesto que sus promedios son superiores al testigo.

4.1.2.6 Peso de grano

El análisis de varianza muestra un Coeficiente de variación de 20.8 % lo cual indica que los resultados experimentales son confiables (Calzada, 1982). En el caso de Bloques no se muestran diferencias significativas, en tanto que las dosis de irradiación, las líneas de cañahua y la interacción de ambos factores muestra diferencias altamente significativas, haciendo necesario un análisis de efectos simples.

Cuadro 40: Análisis de varianza para peso de grano (g)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
BLOQUE	3	0,05	0,02	0,73	0,5353	ns
DOSIS	8	3,14	0,39	17,58	0,0001	**
LINEA	2	4,37	2,18	97,65	0,0001	**
DOSIS*LINEA	16	6,85	0,43	19,15	0,0001	**
ERROR	78	1,74	0,02			
TOTAL	107	16,15				
CV =20,7%	Media = 0,7 (g)					

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para peso de semilla de planta en función a las dosis de irradiación, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 41: Prueba de Duncan para comparar peso de grano de planta en función a las dosis de irradiación, en el momento de cosecha.

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio en peso de grano (g)	Duncan 5 %
240	1,008	a
210	0,900	a
60	0,892	a
30	0,767	b
0	0,692	b c
90	0,583	c d
180	0,583	c d
120	0,542	d
150	0,508	d

Fuente: Elaboración propia

El cuadro muestra que en los niveles de irradiación 240, 210 y 60 (Gy) se tienen los mayores promedios en peso de grano, significativamente superiores a los demás tratamientos. Las demás dosis, especialmente 120 y 150 Gy, son los que tienen promedios significativamente más bajos incluso respecto al testigo con 0.62 g, casi la mitad en rendimiento de grano que las tres primeras dosis.

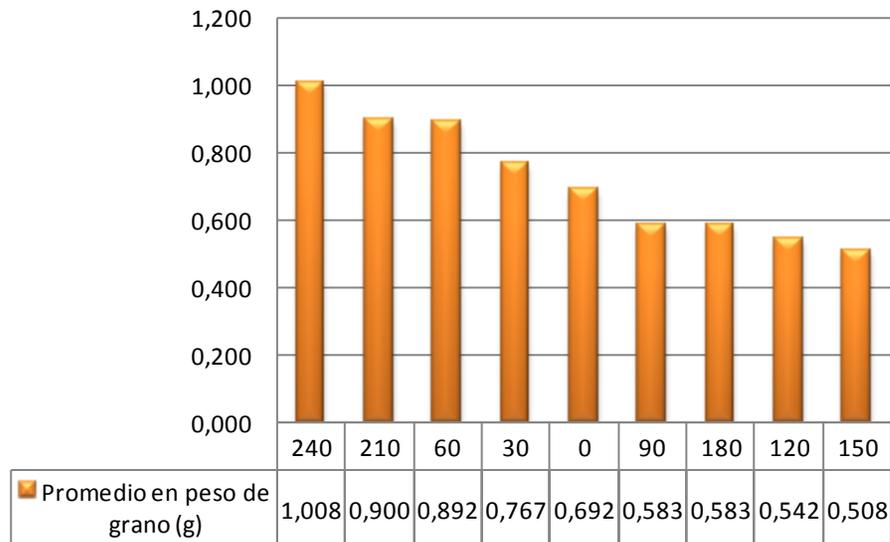


Figura 27: Peso de grano con respecto a las dosis de irradiación.

El testigo 0 Gy se encuentra en medio de las ocho dosis de irradiación, teniendo un promedio de 0.6 g. Existen cuatro tratamientos con peso de grano inferior al testigo y cuatro tratamientos que la superaron. Al respecto, Miah *et al* (1987), indica que la radiación en arroz (*Oryza sativa* L.) con rayos Gamma genera espigas con mayor cantidad de granos.

La prueba de Duncan para comparar el peso del grano de las tres líneas de cañahua se describe a continuación.

Cuadro 42: Prueba de Duncan para comparar peso de grano en función a las líneas de cañahua, en el momento de cosecha.

Líneas de cañahua	Promedio de peso de peso de grano (g)	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	0,994	a
Lasta anaranjada (LA)	0,644	b
Lasta rosada (LR)	0,519	c

Fuente: Elaboración propia

Este análisis corrobora los anteriores resultados obtenidos, mostrando a la línea Saihua con mejores características respecto a las lastas. En este caso, esta línea tiene significativamente mayor peso de grano respecto a las otras dos líneas. Al respecto Mamani (1994) reporta que el ecotipo Saihua tiene mejores rendimientos que el ecotipo lasta. Copeticona (2000) también afirma que evaluando ecotipos Saihua y lasta, las Saihuas superan en rendimiento a las lastas.

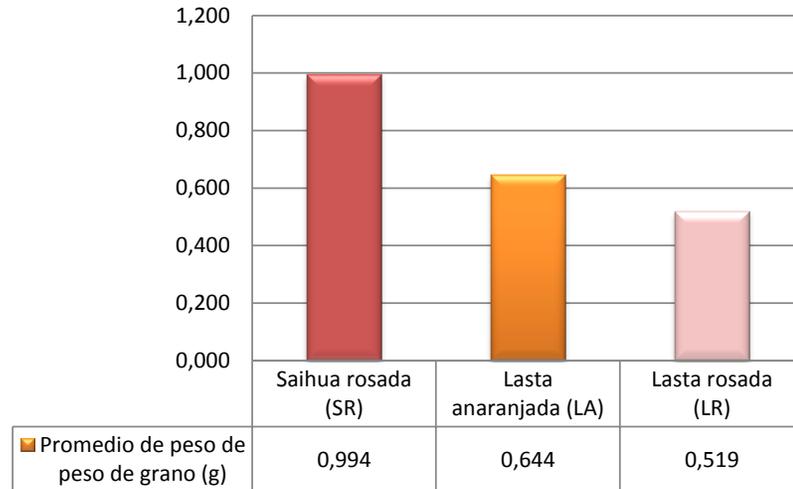


Figura 28: Comportamiento de peso de grano de planta con respecto a las líneas de cañahua.

La interacción de las dosis de irradiación y las líneas de cañahua requiere de un análisis de efectos simples el cual se muestra a continuación.

Cuadro 43: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción líneas de cañahua y dosis de irradiación para peso de grano.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Líneas en 0	2	1,1	0,536	23,974	0,000	**
Líneas en 30	2	0,4	0,203	9,098	0,000	ns
Líneas en 60	2	1,1	0,573	25,652	0,000	**
Líneas en 90	2	0,3	0,161	7,196	0,001	**
Líneas en 120	2	0,4	0,216	9,657	0,000	ns
Líneas en 150	2	0,3	0,163	7,308	0,001	**
Líneas en 180	2	0,8	0,416	18,605	0,000	**
Líneas en 210	2	2,9	1,473	65,882	0,000	**
Líneas en 240	2	3,7	1,866	83,481	0,000	**
Error	78	1,74	0,022			

Fuente: Elaboración propia

El cuadro de efecto simple indica que existen diferencias altamente significativas entre peso de semilla de planta de las líneas de cañahua dentro de las dosis de irradiación 0, 60, 90, 150, 180, 210 y 240 (Gy); pero pasa lo contrario en las niveles 30 y 120 (Gy), al no presentar diferencias significativas.

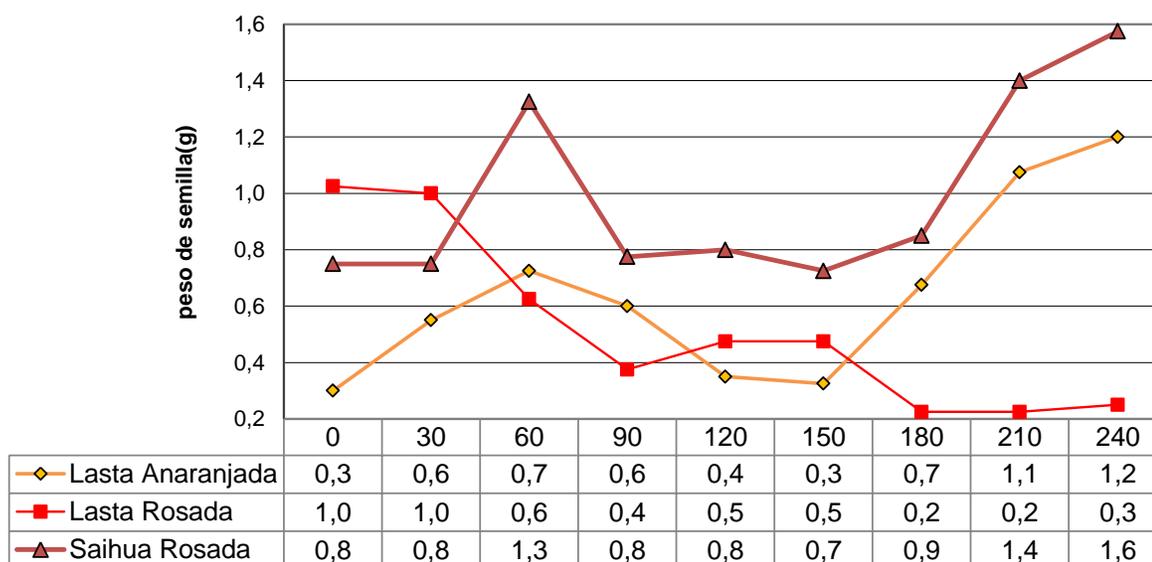


Figura 29. Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para peso de grano por planta

El análisis de la interacción muestra que la línea Saihua rosada tiene un mejor comportamiento en peso de grano respecto a las otras dos líneas. Así mismo se observa mayor peso de semilla con dosis de 60 Gy, mientras que con 0, 30, 90, 120, 150 y 180 Gy muestran pesos similares al testigo. Sin embargo, las dosis de 180 y 240 Gy muestran los mayores pesos de grano para esta línea.

Como en los anteriores casos, se observa un efecto negativo de la radiación sobre la línea lasta rosada que respecto al peso de grano, las dosis de irradiación muestran menores promedios respecto al testigo.

La línea lasta anaranjada muestra en general una mejoría con las dosis de irradiación que en todos los casos superan el promedio del testigo. Sin embargo, a 60, 180, 210 y 240 muestran mejores resultados respecto al peso de grano.

En 90 (Gy), las tres líneas de cañahua van rebajando en peso de semilla con diferentes promedios en peso.

4.1.2.7 Número de granos caídos por planta antes de la cosecha

En este caso se realizó un análisis de varianza con la transformación logarítmica (log y) ya que el coeficiente de varianza del 102.4 % y no se encuentra en el rango permitido.

Cuadro 44: Análisis de varianza para número de granos caídos de planta.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Bloque	3	6414,70	2138,23	0,87	0,46	ns
Dosis	8	103468,74	12933,59	5,26	0,00	**
Linea	2	15380,69	7690,34	3,13	0,05	**
Dosis*linea	16	97250,81	6078,18	2,47	0,00	**
Error	78	191762,80	2458,50			
Total	107	414277,74				
CV=120,2%	Media = 41,2 semillas/pl					

Fuente: Elaboración propia

Es así que con las correcciones necesarias, se obtuvo un nuevo análisis de varianza que se describe a continuación. El CV se halla por debajo del 30% y no se muestran diferencias significativas para bloques, en tanto que existen diferencias altamente significativas entre dosis de irradiación, entre líneas y la interacción Dosis de irradiación de ambos factores, lo que indica que ambos no son independientes por lo que es necesario realizar el análisis de efectos simples.

Cuadro 45: Transformación logarítmica para conteo de número de granos caídos de planta.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Bloque	3	0.64	0.21	0.5	0.6809	ns
Dosis	8	39.45	4.93	11.59	0.0001	**
Linea	2	3.31	1.65	3.89	0.0246	*
Dosis*linea	16	13.45	0.84	1.97	0.0253	*
Error	78	33.20	0.43			
Total	107	90.06				
CV = 20.0%						

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), para el números caídos por planta en función a las dosis de irradiación, se muestran en el cuadro.

Cuadro 46: Prueba de Duncan para comparar el número de granos caídos por planta función a las dosis de irradiación antes de la cosecha.

Dosis de irradiación (Co60) (Gy)	Promedio en cantidad de numero de granos caídos de planta (g)	Duncan 5 %
60	9,75	a
90	24	a
210	24,75	b
150	26,17	b
120	27,17	b
240	29,58	b
180	34,75	b
30	89,5	b
0	105,5	b

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Duncan al 5%, nos indica que en los niveles de irradiación de 60 y 90 Gy, se obtuvo el menor número de granos caídos, estadísticamente inferiores al resto de tratamientos.

Por el contrario con las dosis 210, 150, 120, 240 y 180 Gy se tiene mayor pérdida de granos que van desde 24 a 35 granos por planta. Así mismo, en la gráfica se observa que el testigo (0 Gy) muestra los más altos niveles de pérdida de todos.

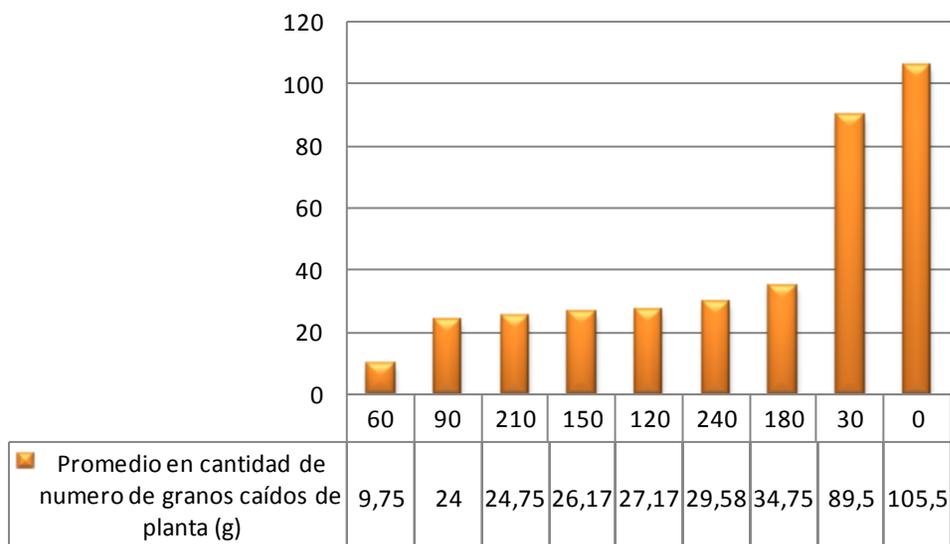


Figura 30: Conteo de número de granos caídos de planta con respecto a las dosis de irradiación.

El análisis de Duncan para el número de granos caídos por planta en función de las líneas de cañahua se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 47: Prueba de Duncan para comparar el número de granos caídos por planta en función a las líneas de cañahua.

Líneas de cañahua	Promedios en cantidad de números de granos caídos de planta	Duncan 5%
Saihua rosada (SR)	31,14	a
Lasta anaranjada (LA)	34,58	b
Lasta rosada (LR)	58	b

Fuente: Elaboración propia

La línea Saihua rosada muestra un mejor comportamiento respecto a la cantidad de granos caídos por planta, vale decir que presenta significativamente menor cantidad de pérdidas antes de la cosecha. Las líneas lastas presentan mayores pérdidas de semillas respecto a la Saihua rosada.

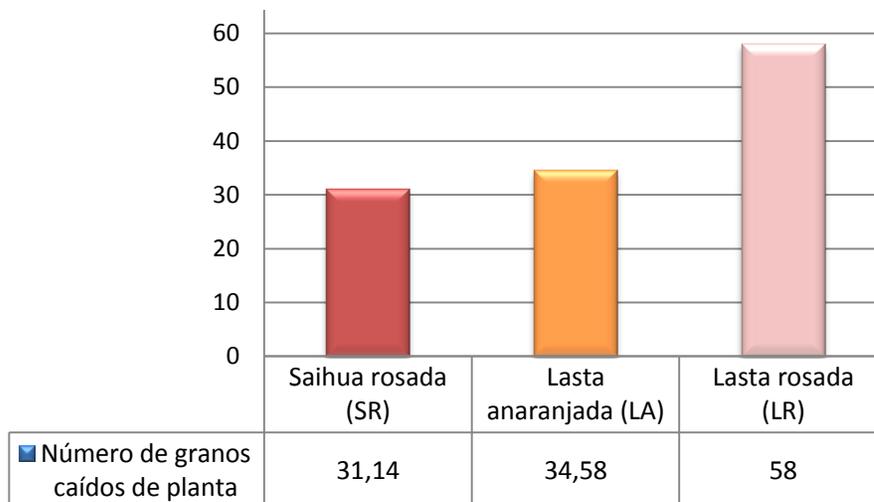


Figura 31: Conteo de número de granos caídos de planta con respecto a las dosis de irradiación.

Al respecto, PROSUKO (2006) indica que la pérdida de grano en las líneas de cañahua lastas y saihuas, podrían deberse a las formas de crecimiento de las dos líneas. En la línea Saihua, las ramificaciones basales pueden ser erectas, mientras las lastas pueden ser postrados, al ser postrados, la planta esta propensa a perder mayor cantidad de granos en comparación de las erectas, las cuales están más protegida.

El análisis de efectos simples para la interacción dosis de irradiación y líneas de cañahua se presenta a continuación.

Cuadro 48: Análisis de varianza de efectos simples para la interacción Líneas de cañahua y Dosis de irradiación para el número de granos caídos de planta.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P>F	Sig
Líneas en 0	2	1486,5	743,250	0,302	0,740	ns
Líneas en 30	2	101046,5	50523,250	20,550	0,000	**
Líneas en 60	2	40,5	20,250	0,008	0,992	ns
Líneas en 90	2	312	156,000	0,063	0,939	ns
Líneas en 120	2	1860,2	930,083	0,378	0,686	ns
Líneas en 150	2	1282,2	641,083	0,261	0,771	ns
Líneas en 180	2	5528	2764,000	1,124	0,330	ns
Líneas en 210	2	528,5	264,250	0,107	0,898	ns
Líneas en 240	2	547,2	273,583	0,111	0,895	ns
Error	78	191762,8	2458,497			

Fuente: Elaboración propia

El cuadro muestra que en los niveles de irradiación 0, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 Gy no existen diferencias significativas en el número de granos caídos por planta antes de la cosecha. Contrariamente, sólo en la dosis de 30 Gy se muestran diferencias altamente significativas. Una mejor visualización de este comportamiento se lo presenta en la siguiente gráfica.

Con el tratamiento testigo, se aprecia que las tres líneas tienen altos índices de pérdida de granos, lo cual reduce las cosechas y desincentiva su producción. Sin embargo, al incrementar la dosis a 30 Gy la línea lasta rosada tiene pérdidas significativamente superiores respecto a los demás tratamiento y líneas. Esta línea tuvo una respuesta negativa en todas las variables evaluadas anteriormente frente a la radiación. Sin embargo, al incrementar la dosis a 60 Gy muestra un comportamiento favorable puesto que reduce sus pérdidas al mínimo.

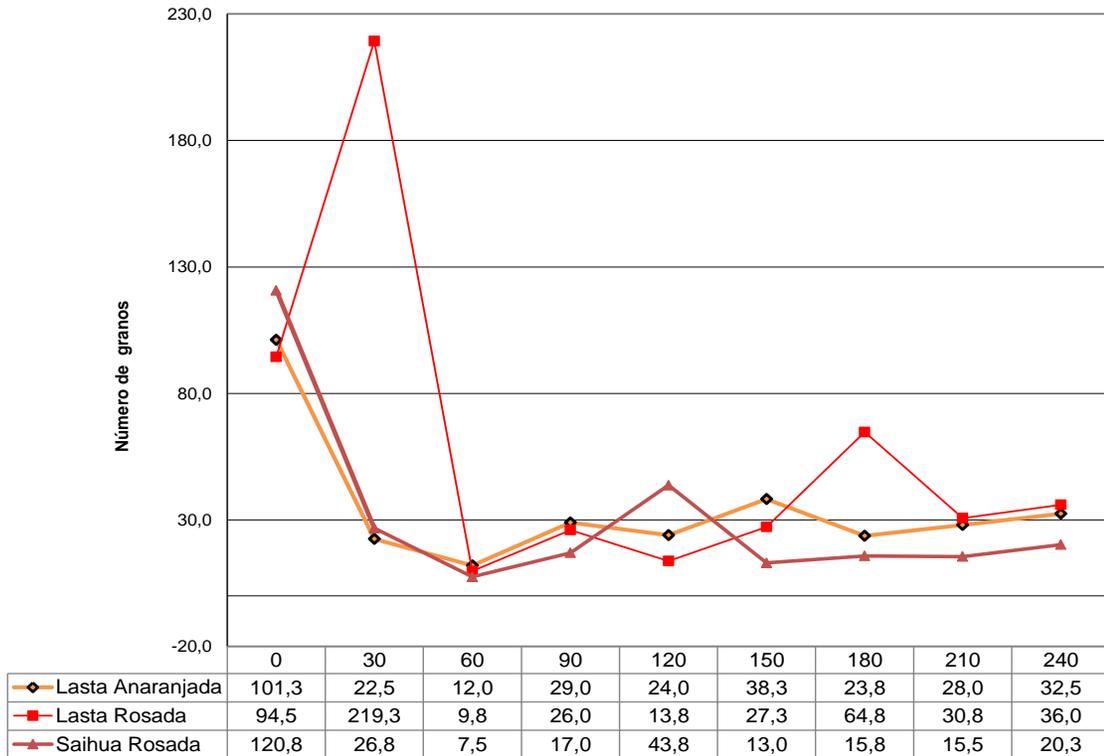


Figura 32: Interacción de dosis de irradiación y líneas de cañahua para conteo de número de granos caídos de planta.

Lo mismo sucede con las líneas lasta anaranjada y Saihua rosada que con la dosis de 60 Gy sus pérdidas de semilla son las más bajas respecto al resto de tratamientos.

Saihua rosada es el que menos pérdida tiene de las tres líneas a una dosis de 60 Gy, pero considerando las otras variables analizadas es el que mejor respuesta ofrece frente a la radiación.

4.1.2.8 Identificación de plantas con características morfológicas diferentes

Las mutaciones dadas a conocer e incorporadas en programas de mejoramiento genético consisten, principalmente, en cambios en la arquitectura de la planta, tiempo de floración, forma y color de la flor y de las hojas, forma, color y tamaño del fruto y resistencia a patógenos e insectos (Donini *et al*, 1984).

Altura de planta

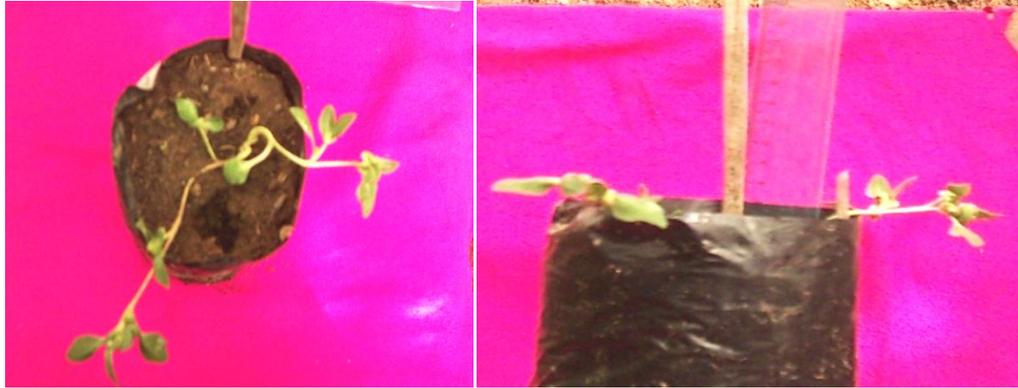
En esta etapa se observó plantas de baja altura, resaltando una que medía 9 cm, se observó este cambio en la dosis 60 Gy, en las líneas lasta anaranjada y Saihua rosada respectivamente. Según Suarez (2006), se encontró en la segunda generación plantas semi enanas, en el cultivo de arroz



Fotografía 7: Plantas enanas de la línea Saihua rosada a 60 Gy

Foto: Llanos, 2013

También se presentaron plantas con menor número de ramificaciones (2) y un peso 0.40 g de materia seca.



Fotografía 8: Plantas con pocas ramificaciones (izq. vista aérea; der. vista frontal)

Foto: Llanos, 2013

Tallo

Se observó que empezando en el nivel del cuello y casi llegando al tercio medio superior de la planta, existe la unión de dos tallos, formando un tallo principal. A medida que va creciendo la planta, este tallo se va separando y forma dos tallos principales con sus ramificaciones. Más que todo se notó esta diferencia en la dosis 60, 150, 120 y 180 Gy de la línea lasta anaranjada. Este mismo fenómeno se presentó sólo en dos plantas de la línea lasta rosada a la dosis de 60 y 150 (Gy).



Fotografía 9: Tallos unidos en plantas alcanzando la madurez fisiológica

Foto: Llanos, 2013



Fotografía 10: Tallos unidos en plantas ya cosechadas y deshidratadas a 60 Gy en la línea lasta anaranjada

Foto: Llanos, 2013

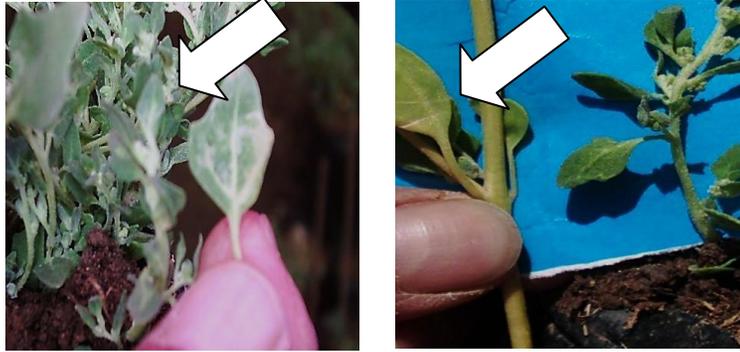
Hojas

En el estado de madures fisiológica se encontraron hojas con las siguientes características: laminas arrugadas, engrosadas, largas, incluso en una misma planta las hojas fueron de menor y mayor diámetro y con los bordes lisos, o con cinco dientes o puntas



Fotografía 11: hojas enanas y gruesas en la línea Saihua rosada

Foto: Llanos, 2013



Fotografía 12: Hojas enanas y ovaladas en la línea

Foto: Llanos, 2013

También se observó coloración de manchas rojizas en el haz como en el envés y en otros casos presentando una coloración rojiza en parte de las hojas como en tallo de planta.



Fotografía 13: Manchas en el haz como en el envés de las hojas de Saihua rosada

Foto: Llanos, 2013

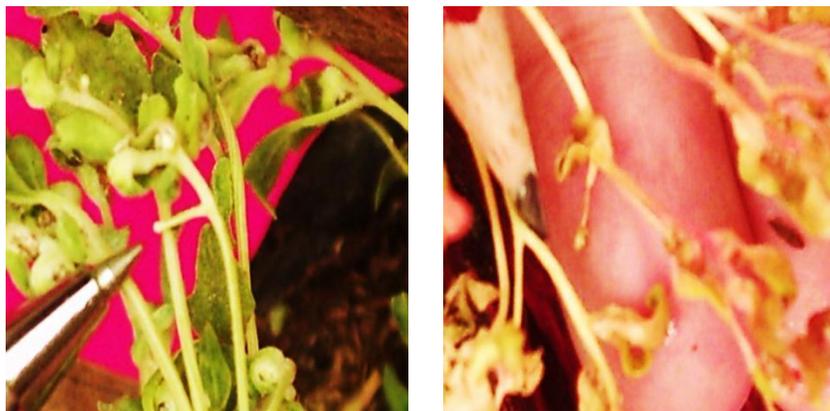


Fotografía 14: Coloración de las nervaduras en el haz y envés a 180 Gy en la línea lasta anaranjada

Foto: Llanos, 2013

Inflorescencia

Las flores de la cañahua generalmente van agrupadas o soldadas, pero observando en las dosis 90 Y 120 (Gy) se notó que en algunos casos solo tenían un solo estambre con una sola flor



Fotografía 15: Malformación en la inflorescencia (solo se presenta una flor)

Foto: Llanos, 2013

La figura muestra que más parece una planta con flores separadas y no así un racimo de flores, esto pudo haber sido por la dosificación con Co60 o tal vez pudo influir al cultivo las condiciones en que se encontraban dentro del walipini.

Protección de los granos

En el momento de la madurez fisiológica, en las líneas de cañahua del testigo, todas tenían las mismas características de fragilidad, visibilidad en cuanto a la madurez del grano, pero en las mismas líneas de cañahua y a diferentes dosis de irradiación los granos se encontraban protegidos por el antohipsófilo acrecente más parecido a las hojas pero estas modificadas como si estuviesen envueltas (encerradas) por un para evitar su desprendimiento de la planta mediante el manipuleo en el momento de la cosecha.



Fotografía 16: Hojas envolviendo la inflorescencia en la línea lasta anaranjada a 180 Gy

Foto: Llanos, 2013



Fotografía 17: Hojas envolviendo la inflorescencia en la línea lasta anaranjada a 180 Gy

V. SECCIÓN CONCLUSIVA

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las variables de respuesta, se concluye lo siguiente:

- ✓ El perigonio en las semillas de cañahua, retarda la germinación de las mismas.
- ✓ La radiación con Co 60 influye en las líneas de cañahua.
- ✓ Las ocho dosis evaluadas no permitieron encontrar la dosis letal media, por lo que se trabajó con todas.
- ✓ Las líneas de cañahua responden de diferente manera a las dosis de irradiación
- ✓ La que mejor respuesta mostró es la línea Saihua rosada especialmente con dosis de 60 Gy con la que incrementa su producción de granos, gana mayor altura, forma mayor número de ramas, pero lo más interesante en términos de producción, es que a esta misma dosis se reduce significativamente la caída de granos hasta en un 96% en comparación del testigo.
- ✓ La línea lasta rosada muestra respuesta negativa a la radiación puesto que reduce su altura, el número de ramas, el peso de la semilla, el peso de broza. Sin embargo muestra un efecto favorable al analizar la caída de granos antes de la cosecha, la cual disminuyó a significativamente a la dosis de 60 Gy
- ✓ La línea lasta anaranjada responde favorablemente a la radiación, puesto que al incrementar las dosis mejoró sus características de crecimiento.
- ✓ La radiación generó algunos cambios morfológicos en algunas plantas de cañahua, especialmente de la línea lasta anaranjada y Saihua rosada.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Es necesario continuar la investigación, especialmente para analizar el efecto de la irradiación con cobalto 60 en el rango de 0 y 90 Gy, puesto que con estas dosis se identificaron características favorables para la producción de cañahua.
- ✓ También es necesario continuar analizando la irradiación entre 180 y 240 Gy, puesto que con estas dosis se identificaron cambios morfológicos
- ✓ Se recomienda validar las dosis de irradiación utilizadas, especialmente la de 60 Grey que mejores resultados dieron en el ensayo.
- ✓ Continuar la investigación utilizando las líneas de cañahua evaluadas, especialmente la línea Saihua Rosada que mejores resultados mostró.
- ✓ Estudiar otras características que pueda presentar esta línea de cañahua con un monitoreo a nivel celular y biológico molecular en el proceso de la embriogénesis somática.
- ✓ Estudiar las siguientes generaciones de las líneas de cañahua, para examinar el carácter de heredabilidad de sus características.
- ✓ En este estudio no se evaluó los cambios a nivel proteico en las líneas sometidas a irradiación, por lo que se recomienda continuar la investigación incorporando esta variable.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ARIZACA RAMÍREZ, JAIME C. (2003), Selección In vitro de genotipos mutantes de la variedad waycha paceña de papa (*Solanum tuberosum*. Spp Andigenum) con tolerancia a la salinidad. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. UMSA.
- BENITO, T, L. 1995. Diferentes densidades de siembra y distintas distancias entre surcos y el rendimiento de dos formas botánicas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen). Tesis de Ing. Agr. UTO. Oruro-Bolivia. Pp39-76
- BELLOUR, J. A. 1980. La problemática aymara en el Altiplano Central. Serie S –5. CIDOB, La Paz – Bolivia.
- BRAVO, R. P. 1975 Análisis Bibliográfico en quinua (*Chenopodium quinoa*, Wild) y cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen). Tesis Ing. Agr. Puno–Perú, Universidad Nacional Técnica del Altiplano. 94 p.
- CÁCERES VEGA E., JULIO 1993. Cultivos Andinos. Producciones FM.
- CAHUANA, L. 1970. Comparativo de rendimiento de cinco formas botánicas de cañahua, por distanciamiento entre surcos. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad del Altiplano. Puno – Perú. 67 p.
- CALZADA B, J. 1982. Método estadístico para la investigación. Ed. Milagros SA., Quinta Edición. Lima – Perú. Spp 129-133.
- CALLE, CH. E. (1980), Morfología y variabilidad de la cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) Cultivada en el altiplanos boliviano. UMSS Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Tesis. Cochabamba Bolivia. Spp 113

CARRASCO ENRIQUE G.; ROJAS WILFREDO; SOTO JOSÉ LUIS (2003), La quinua y cañahua granos andinos subutilizados del altiplano, su potencial genético y socioeconómico. Fundación PROINPA Regional Altiplano. La Paz Bolivia

CHILON, E. 1996. Manual de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. 290 p.

CODEX ALIMENTARIUS, ALINORM 03/12A. (2003), "Norma General sobre Alimentos Irradiados"

DESCRIPTORES PARA LA CAÑAHUA, IPGRI. © International Plant Genetic Resources Institute, (2005).

DONINI, B; KAWAI T AND MICKE A, 1984. Spectrum of mutant characters utilized in developing improved cultivars. In: Selection in Mutationbreeding, IAEA, Vienna, pp 7 ◆31.

ECODIGITAL. (2012), Publicación electrónica de "Eco Sur, Centro de Estudios Ambientales"-Patagonia Argentina. Disponible en: ecodigital@cpenet.com.ar

FAO. 1985. Informe Alimentario Mundial. Organización de las Naciones Unidas. Roma. Pp 40

FAO (1988), MutationBreedingNewsletterJoin FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of AtomicEnergyfor Food and AgriculturalDevelopment International AtomicEnergy Agency, Vienna, Printedbythe IAEA in Austria, Issue N° 31 March 1988.Pp 9

FAO (1988), MutationBreedingNewsletterJoin FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of AtomicEnergyfor Food and AgriculturalDevelopment International AtomicEnergy Agency, Vienna, Printedbythe IAEA in Austria, Issue N° 32 July 1988.Pp 28

FAO (1988), MutationBreedingNewsletterJoin FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International AtomicEnergy Agency, Vienna, Austria Printedbythe IAEA in Austria, N° 35 January 1990.Pp 20

FAO, WHO, IAEA, (1999), "Inocuidad de alimentos irradiados a dosis mayores a 10 kGy" , Organización para la Alimentación y la Agricultura(FAO), Organización Mundial de la Salud (WHO), Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA).

FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD (2007), Biodiversidad agrícola: Estudio de base sobre la viabilidad y factibilidad técnica y socioeconómica de los cultivos andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd enow*), Kwacha (*Amaranthus caudatus Linnaeus*) y Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule, Aellen*) y determinación de su potencial para el desarrollo sostenible de las comunidades rurales de los valles andinos

GARCIA, G. M. 1953. Estudio químico de la cañahua. Estación Experimental Agrícola de la Molina. Lima Perú. Informe N° 85. 20 p.

GÁLVEZ MORROS MAGDALENA (2000), Aplicaciones de los Isótopos Radiactivos en la Producción y Conservación de Alimentos, Conferencia, Real Academia de Ciencias Veterinarias

GOMEZ Pando L. Romero M. Jiménez Dávalos J. Roldan Chávez A. De La Barra Eguiluz (s.f), Mejoramiento genético de quinoa (*Chenopodium quinoa*willd.) variedad pasankalla empleando inducción de mutaciones. - PROYECTO

PER/5/30 El Proyecto de Investigación y Extensión Agrícola –INCAGRO.
Innovación y Competitividad para el Agro Peruano. Ministerio de Agricultura.

GUZMÁN, E. 1996. Genética Agropecuaria. Ed. Trillas, 1^{ra} Edición. México DF PP.
23-26

HARRY, J. y MARVIS, T. (2004) *La radiación es parte de nuestra vida*. Series de
información nuclear, traducción y adaptación al español, por el Instituto
Nacional de Investigaciones Nucleares de México. México D.F.

IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) (2013), Perfil Estratégico
Regional para América Latina y el Caribe (PER). Publicación Impresa con la
asistencia del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y
Tecnológicas (CIEMAT) de España 2007-2013

OIEA (1991), Boletín de la OIEA en acción División de Información Publico.

HEIN, M. (1992) *Química nuclear*, Grupo editorial Iberoamericana, México. D.F. pp.
525 – 534

IBTEN (1998), Protección Radiológica. Editado por el Instituto Boliviano de Ciencia
Y Tecnología Nuclear, Impreso en Artes Gráficas Astral La Paz – Bolivia.
Pp16-47

IBTEN (1998), Protección Radiológica. Editado por el Instituto Boliviano de Ciencia
Y Tecnología Nuclear, Impreso en Artes Gráficas Astral La Paz – Bolivia. PP.
66-71

LESCANO, J. L. (1976), Formas de crecimiento en Cañahua (*Chenopodium
pallidicaule*, Aellen).convención Internacional de Qenopodiaceas Quinoa –
Cañahua, Segunda edición. Potosí – Bolivia. IICA, Zona Andina. spp 81- 88

- MAMANI, F. (2003), Cultivo de cañahua (Aymara) en informe de actividades. Gestión Agrícola 2002-2003. Facultad de Agronomía – UMSA. Experimental Belén. La Paz – Bolivia spp 2 Sección PROGRAMA.
- MANTARI C, C. 1955. El mejoramiento del cultivo de la cañahua en el Departamento de Puno. Puno Perú.
- MARIN, W. (2002), “Distanciamiento entre surcos y plantas en dos ecotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) en el Altiplano Norte, Tesis de Grado Facultad de Ingeniería Agronómica UMSA. La Paz – Bolivia. pp 77. Disponible en Omega. Ilce.edu.mx Ciencia vol 2/ciencia 3 /099 atm/laradser.htm
- MARTÍN, G., LABRADA, A., RESTO, E. Y SUÁREZ, B. (1989) “Resultados Preliminares de la Utilización de Rayos Gamma de Co60 en *Terammuslabialis*, Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatee" Matanzas, Cuba 1INIFAT "Alejandro de Humboldt" La Habana.
- MELLADO, Z. M. (2004) Programa Nacional de Semillas (PNS) Bolivia Curso Internacional en Mejoramiento y Mantenimiento de Variedades Modulo 1 Introducción al Mejoramiento Genético Vegetal. Conceptos Básicos. Chile Noviembre_2004 spp 1-39
- NARRO, F. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Primera edición. Editorial Trillas S.A. México. Pp. 48-53.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1989). Lostcrops of the Incas. National Academy Press, Washington D.C. USA. P41

OIEA., 1994. Organismo Internacional de Energía Atómica. Revista trimestral. Vol. 36, Nº 3 Viena – Austria. 42 p.

PRIESTLEY, 1986. Breeding of plant using radiation of gamma ray. University of Birmingham United Kingdom. p 96 – 102.

PROGRAMA DE SUKA KOLLUS (PROSUKO) (2006) “Mesa de Dialogo Técnico” Realizado el 22 y 23 del mayo del 2006 Quinua Cañahua” Memoria, Ejecutado por Intercooperation – IC. Impreso ADP. Arte y Diseño Publicidad, El Alto–Bolivia. Pp11-40

QUISPE T, P. 1999. Efectos de niveles de fertilización orgánica en dos cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) en el altiplano central, Tesis Ing. Agr. UMSA, La Paz – Bolivia. pp 81.

QUISBERT M, L. (2003), Evaluación agronómica preliminar de 20 accesiones de cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) en el altiplano norte. Tesis de grado, Facultad de Agronomía UMSA La Paz Bolivia. pp 9-12

REVISTA ECODIGITAL (2003). Disponible en:

<http://www.ecodigital.com.ar/Biodiversidad%20folder/BioAgricola.htm>

ROJAS, W.; PINTO, M.; CAMARGO, A. (2002) Caracterización y evaluación preliminar de la colección de germoplasma de cañahua. Informe final 2002. Actividades principales para el manejo, conservación y uso sostenible de los bancos de germoplasma en Bolivia, PROINPA.- SIBTA, pp17- 26.

ROJAS WILFREDO; SOTO J.L.; PINTO MILTON; JAGER MATTHIAS; PADULOSI STEFANO (2010). Granos andinos avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Proyecto IFAD-

NUS I y II (2001-2010). Bioversity Internacional, Fundación PROINPA, pp 12-14

ROMERO MERLO ALEJANDRO (2011) Efecto de la estratificación con arena en la reproducción de tres tipos de estaca de *Satureja boliviana* B. bajo ambiente protegido. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía,

ROSERO AMPARO; CEBALLOS HERNÁN; FREGENE MARTÍN; TOFIÑO ADRIANA; MORANTE NELSON; PÉREZ JUAN CARLOS; CASTELBLANCO WILSON (s.f), Avances en la obtención de variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con alta calidad de almidón mediante mutación inducida. Artículos Científicos. CORPICA. Disponible en www.corpoica.org.co

SUÁREZ CRESTELO ENRIQUE (2006) mejoramiento genético mediante inducción de mutaciones. Sanoticespíritu. Cuba. Disponible en <http://agr.unne.edu.ar/fao/Cuba-pt/5MEJORAMIENTO%20%20MUTACIONES%20-Crestelo.pdf>

SENAMHI2013. Estadísticas mensuales. Disponible en Senamhi.gob.bo.

SILVA, E. J. 2004. Propagación vegetativa de *Atriplex*Sp (planta de sal) en cuatro sustratos de enraizamiento y respuesta a la fertilización nitrogenada en ambiente de walipini (Letanías, Viacha). Tesis de Grado para optar al grado de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de san Andrés. 88p.

TAPIA, M. *et.al.* 1979. Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen). En la Quinoa y la Kañiwa, cultivos andinos CIID. IICA. Bogotá – Colombia. pp 205-215

TAPIA, M.E. 1968. La Cañahua. Puno, Universidad Técnica del Altiplano, Facultad de Agronomía. Boletín Técnico N° 1. 11p

TAPIA M. E. (1968) La cañahua Puno, Universidad Técnica del Altiplano, Facultad de Agronomía. Boletín Técnico N°1. pp 11

TRIGO, R. R. (1992), Evapotranspiración del Cultivo de Papa en Condiciones de Campo y su Respuesta a la Sequía en el Altiplano Central. Tesis de Grado Facultad de Ingeniería Agronómica UMSA La Paz Bolivia pp 24-25-26

VIDAURRE, S. R. (2002), Determinación de la Época Óptima de Cosecha en Tres Cultivares Saihua de Cañahua (*Chenopodium pallidicaule*, Aellen) Tesis de Grado Facultad de Ingeniería Agronómica UMSA La Paz Bolivia pp 10-29. Disponible en <http://revista.consumer.es/web/es/19990301/medioambiente/>

Anexo: Análisis Físico químico del sustrato

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
DIVISION DE QUIMICA

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *División de Agricultura - CIN Viacha*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ, Provincia INGAVI*
Invernadero - CIN Viacha

N° SOLICITUD: 051F / 2013
FECHA DE RECEPCION : 15 / julio / 2013
FECHA DE ENTREGA : 15 / agosto / 2013

I B T E N

N° Lab.	CODIGO	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL	GRAVA %	CARBO NATOS LIBRES	pH en agua 1:5	pH en KCl 1N 1:5	C.E. mS/cm 1:5	CATIONES DE CAMBIO (meq / 100 gr suelo)						SAT. BAS. %	M. O. %	N TOTAL %	P Asim. ppm	
											Al+H	Ca	Mg	Na	K	TBI					CIC
901 /2005	Muestra de suelo	51	29	20	FYA	-	P	5,87	5,78	0,565	0,097	17,96	1,80	0,39	0,39	20,54	20,64	99,5	14,16	0,51	7,11

OBSERVACIONES,-

Cationes de Cambio extraidos con acetato de amonio 1N.
** Fosforo Asimilable (P Asimil).
C.E. Conductividad eléctrica en milSiemens por centimetro.
C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico.
T.B.I. Total de Bases de Intercambio.
M.O. Materia Orgánica.

CARBONATOS LIBRES

A Ausente
P Presente
PP Presente en gran cantidad

CLASE TEXTURAL

F : Franco
L : Limoso
A : Arenoso
Y : Arcilloso
YA : Arcilloso Arenoso
FYA : Franco Arcilloso Arenoso

FA : Franco Arenoso
AF : Arenoso Franco
FY : Franco Arcilloso

YL : Arcilloso Limoso
FYL : Franco Arcilloso Limoso
FL : Franco Limoso



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA