

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACION DE SEMILLA DE SEIS VARIEDADES  
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)  
IRRADIADAS CON TRES DOSIS DE RAYOS GAMMA COBALTO 60 (Co-60)  
EN CONDICIONES CONTROLADAS**

**Presentado por:**

**RUTH VIRGINIA QUINTEROS MAMANI**

**La Paz – Bolivia**

**2012**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

**EVALUACION DE SEMILLA DE SEIS VARIETADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) IRRADIADAS CON TRES DOSIS DE RAYOS GAMMA COBALTO 60 (Co-60)  
EN CONDICIONES CONTROLADAS**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
Parcial para optar el Título de  
Ingeniero Agrónomo*

**RUTH VIRGINIA QUINTEROS MAMANI**

**Asesores:**

Ing. Ph. D. Víctor Hugo Mendoza Condori

Ing. M. Sc. Félix Mamani Reynoso

Ing. Edgar Gómez Villalba

**Tribunal Examinador:**

Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores

Dr. Augusto Vargas Hudson

Ing. Cristal Taboada Belmonte

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador:**





## DEDICATORIA

A la gran “FAMILIA” de Dios, por enseñarme  
el amor verdadero y eterno.

UPF.

Por estar siempre a mi lado  
apoyándome incondicionalmente,  
a mi Papi Alberto que me enseñó a  
perseverar y siempre buscar lo mejor en la vida,  
a mi Mami Felipa, por el cariño y cuidado  
que siempre me ha brindado en los momentos difíciles.  
y a mis hermanos por la alegría  
y el cariño que me brindan

## AGRADECIMIENTOS:

- Al que fue, es y será eterno padre que me cuida y me ampara noche y día, Mi Padre Celestial.
- Mis sinceros agradecimientos al Instituto Boliviano de Tecnología de Energía Nuclear (IBTEN) por facilitarme los ambientes necesarios para realizar el trabajo de campo de la presente investigación.
- Otro sincero agradecimiento a mis asesores:  
Ing. Edgar Gómez V. por su paciencia, orientación y apoyo en la realización del trabajo de campo y el documento final.  
Ing. Ph. D. Víctor H. Mendoza por su colaboración y guía durante la elaboración del documento final de tesis.  
Ing. M. Sc. Félix Mamani Reynoso por el asesoramiento y correcciones sugeridas del presente trabajo.
- Del mismo modo al tribunal revisor compuesto por el Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores, el Dr. Augusto Vargas H. Ing. Cristal Tabuada B. por sus observaciones, recomendaciones y tiempo empleado para la mejora del documento final.
- A mis amigos que me apoyaron y colaboraron: Ing. Nelson Freddy Melendez H. y Mirian Butron M. por el asesoramiento y consejos que en desmedida me brindaron.
- A mis amigas que me apoyaron y colaboraron: Maria T., Daniela, y Flavia.
- A todas las personas que de alguna u otra manera aportaron para la realización y culminación del presente documento.

## CONTENIDO

INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
LISTA DE ANEXOS	vii

## INDICE GENERAL

	Página
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1 Características del cultivo.....	4
3.1.1 Clasificación taxonómica de la quinua.....	4
3.1.2 Variabilidad genética.....	4
3.2 Descripción botánica de la quinua.....	5
3.3 Fases fenológicas.....	6
3.4 Distribución geográficas.....	8
3.4.1 Quinuas altiplánicas.....	8
3.4.2 Quinuas de los salares.....	8
3.4.3 Quinuas de los valles.....	8
3.4.4 Quinuas al nivel del mar.....	9
3.5 Mutaciones.....	9
3.6 Mejoramiento genético de plantas con la aplicación de radioisótopos.....	10
3.6.1 Empleo de las mutaciones.....	10
3.6.2 Efecto de las mutaciones inducidas.....	10
3.6.3 Clasificación de las mutaciones.....	11
3.7 Mutación inducida.....	12
3.7.1 Agentes mutagénicos.....	12
3.7.2 Rayos gamma.....	13
3.7.3 Unidades de medida de la radiación.....	13
3.8 Efecto de la radiación en las plantas tratadas con cobalto-60.....	13
3.9 Mejoramiento genético de la quinua mediante inducción de mutaciones.....	14
3.10 Determinación de la radiosensibilidad.....	15
3.10.1 Factores que modifican la radiosensibilidad.....	16
<b>4. LOCALIZACIÓN</b> .....	<b>17</b>
4.1 Descripción climatológica.....	17
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
5.1 Materiales.....	20
5.1.1 Material Vegetal.....	20

5.2 Método.....	19
5.2.1 Procedimiento experimental.....	19
5.2.1.1 Trabajo de laboratorio. ....	19
5.2.1.2 Trabajo en invernadero. ....	20
5.2.1.2.1 Preparación del ambiente.....	20
5.2.1.2.2 Preparación del sustrato.....	20
5.2.1.2.3 Siembra.....	21
5.2.2 Manejo agronómico. ....	21
5.2.2.1 Riego . ....	21
5.2.2.2 Entutorado ....	21
5.2.2.3 Aporque.....	22
5.2.2.4 Control fitosanitario.....	22
5.2.2.5 Cosecha.....	22
5.2.2.6 Trilla y limpieza de granos.....	23
5.2.3 Diseño experimental.....	23
5.2.3.1 Tratamientos.....	23
5.2.3.2 Modelo lineal.....	25
5.2.4 Variables de respuesta.....	25
5.2.4.1 Variables de crecimiento y desarrollo en laboratorio.....	25
5.2.4.2 Variables de crecimiento y desarrollo en invernadero.....	26
5.2.4.3 Variables a la cosecha.....	28
5.2.4.4 Variables fenológicas.....	28
5.2.4.5 Determinación de la dosis letal media (DL-50).....	28
5.2.5 Análisis estadístico de las variables de respuesta.....	29
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
6.1 Variables de crecimiento y desarrollo en laboratorio.....	30
6.1.1 Porcentaje de germinación.....	30
6.1.2 Porcentaje de supervivencia.....	35
6.1.3 Longitud de hojas cotiledonales y la radícula (cm.).....	38
6.2 Variables de crecimiento y desarrollo en invernadero.....	42
6.2.1 Porcentaje de emergencia.....	42
6.2.2 Supervivencia de plantas a los 35 días después de la siembra.....	44
6.2.3 Porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra.....	46
6.2.4 Altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra....	48
6.2.5 Inducción de quimeras (anormalidades en hojas, inflorescencia y frutos).....	50
6.2.5.1 Porcentaje de plantas con presencia de hojas anormales en el tallo principal.....	50
6.2.5.2 Porcentaje de plantas que no formaron fruto.....	54
6.2.5.3 Porcentaje de plantas con panoja anormal.....	56
6.2.6 Porcentaje de supervivencia de plantas antes de la cosecha.	59

6.3 Variables a la cosecha.....	61
6.3.1 Altura de planta (cm.).....	61
6.3.2 Longitud de raíz.....	63
6.3.3 Peso de grano por panoja.....	65
6.4 Variables fonológicas.....	68
6.4.1 Días a la cosecha.....	68
6.5 Determinación de la DL-50.....	70
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>75</b>

## INDICE DE CUADROS

		Pagina
Cuadro 1.	Formulación de tratamientos.....	23
Cuadro 2.	Número de semillas germinadas en laboratorio para las seis variedades de quinua durante 5 días.....	30
Cuadro 3.	Análisis de varianza para el variable porcentaje de germinación.....	31
Cuadro 4.	Análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia en laboratorio para seis variedades de quinua irradiadas con cobalto60.....	35
Cuadro 5.	Análisis de varianza para la longitud de hoja cotiledónal y raíz (cm.) a los seis días después de la siembra.....	38
Cuadro 6.	Análisis de varianza para la variable porcentaje de emergencia.....	42
Cuadro 7.	Análisis de varianza para la variable supervivencia de plantas a los 35 días después de la siembra.....	44
Cuadro 8.	Análisis de varianza para el porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 después de la siembra.....	46
Cuadro 9.	Análisis de varianza para la altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra para seis variedades de quinua irradiadas con cobalto-60.....	48
Cuadro 10.	Comparación de medias para la altura de plantas a los 15 y 75 dds para las seis variedades de quinua.....	49
Cuadro 11.	Comparación de medias para la altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60.....	49
Cuadro 12.	Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con hojas anormales en el tallo principal.....	51
Cuadro 13.	Comparación de medias del porcentaje de plantas con hojas anormales, de las seis variedades de quinua .....	51
Cuadro 14.	Comparación de medias del porcentaje de plantas con hojas anormales para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60 .....	52
Cuadro 15.	Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas que no formaron frutos.....	54
Cuadro 16.	Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con panoja anormal.....	57
Cuadro 17.	Análisis de varianza para la variable porcentaje de supervivencia antes de la cosecha.....	59
Cuadro 18.	Análisis de varianza para la variable altura de planta .....	61
Cuadro 19.	Análisis de varianza para la longitud de raíz .....	63
Cuadro 20.	Análisis de varianza para la variable peso de grano por panoja .....	65
Cuadro 21.	Análisis de varianza para la variable días a la cosecha.....	68
Cuadro 22.	Análisis de la Dosis letal media para siete variables de respuesta para seis variedades de quinua.....	70



Cuadro 23.	Dosis óptimas (DL-50) de irradiación para las seis variedades de quinua.....	71
------------	--	----

### INDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1.	Modificaciones génicas, mediante la sustitución de pares de bases.....	12
Figura 2.	Esquema de las principales etapas en que se registran los efectos de los tratamientos mutagénicos.....	14
Figura 3.	Ubicación geográfica del IBTEN-VIACHA.....	17
Figura 4.	Preparación del sustrato embolsado, Bolsas con sustrato, apertura manual de hoyos para la siembra.....	21
Figura 5.	Registro de la longitud de la raíz y la hoja cotiledonal.....	26
Figura 6.	Ejemplo de quimeras, A) hojas, B) tallo y C) inflorescencia anormales.....	27
Figura 7.	Comparación de medias del porcentaje de germinación en laboratorio de las variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).....	32
Figura 8.	Comparación de medias del porcentaje de germinación en laboratorio entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%).....	32
Figura 9.	Evolución del porcentaje de germinación de las variedades de quinua por efecto de las dosis de radiación.....	33
Figura 10.	Comparación de medias del porcentaje de supervivencia en laboratorio entre las seis variedades de quinua. Duncan (5%).....	35
Figura 11.	Comparación de medias del porcentaje de supervivencia en laboratorio entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%).....	36
Figura 12.	Evolución del porcentaje de supervivencia en laboratorio para el testigo y las tres dosis de radiación con rayos gamma.....	37
Figura 13.	Comparación de medias de la longitud de la hoja cotiledonal de las variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).....	39
Figura 14.	Comparación de medias de la longitud de la hoja cotiledonal para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60, en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).....	40
Figura 15.	Comparación de medias para la longitud de raíz para las seis variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%) .....	40
Figura 16.	Comparación de medias de la longitud de la raíz para las cuatro dosis de radiación, en condiciones de laboratorio. Duncan (5%) .....	41
Figura 17.	Comparación de medias del porcentaje de emergencia para las variedades de quinua. Duncan (5%).....	42
Figura 18.	Comparación de medias del porcentaje de emergencia para las dosis de radiación Duncan (5%).....	43

Figura 19.	Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia a los 35 días después de la siembra de las seis variedades de quinua. Duncan (5%).....	45
Figura 20.	Comparación de medias del porcentaje de supervivencia a los 35 DDS por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%)....	45
Figura 21.	Comparación de medias para el porcentaje de plantas con hoja verdadera a los 15 después de la siembra entre las seis variedades de quinua. Duncan (5%).....	47
Figura 22.	Comparación de medias para el porcentaje de planta con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%).....	47
Figura 23.	Evolución del porcentaje de plantas que formaron hojas deformes por efecto dosis de radiación (100, 200 y 300Gy), durante los 50, 75 y 90 días después de la siembra.....	53
Figura 24.	Comparación de medias para el porcentaje de plantas que no formaron fruto de las seis variedades de quinua Duncan (5%) .	55
Figura 25.	Comparación de medias del porcentaje de plantas que no formaron fruto, por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%).....	56
Figura 26.	Comparación de medias para el porcentaje de plantas con panoja anormal para las seis variedades de quinua.....	57
Figura 27.	Comparación del porcentaje de plantas con panoja anormal, para las cuatro dosis de radiación Duncan (5%) .....	58
Figura 28.	Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia antes de la cosecha de las variedades de quinua.....	60
Figura 29.	Comparación de medias del porcentaje de supervivencia antes de la cosecha por el efecto de las dosis de radiación Duncan (5%).....	60
Figura 30.	Comparación de medias de la altura de planta (cm) en las seis variedades de quinua. Duncan (5%).....	62
Figura 31.	Comparación de medias para la altura de planta por efecto de las dosis de radiación Duncan (5%).....	62
Figura 32.	Comparación de medias para la longitud de raíz de las variedades de quinua. Duncan (5%).....	64
Figura 33.	Comparación de medias para la longitud de raíz por efecto de las dosis de radiación Duncan (5%).....	64
Figura 34.	Comparación de medias del peso de grano para las seis variedades de quinua. Duncan (5%).....	66
Figura 35.	Comparación de medias del peso de grano por panoja por efecto de las dosis de radiación Duncan (5%).....	67
Figura 36.	Comparación de medias del número de días a la cosecha, para las seis variedades de quinua, Duncan (5%).....	69
Figura 37.	Comparación de medias para el número de días a la cosecha entre el testigo y las tres dosis de radiación en invernadero, Duncan (5%).....	69

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con panoja vacía
- Anexo 2. Comparación de medias para el porcentaje de plantas con hoja panoja vacía entre variedades y dosis.
- Anexo 3. Promedio del porcentaje de germinación en laboratorio (datos reales)
- Anexo 4. Promedio del porcentaje de supervivencia en laboratorio (datos reales y transformados a logaritmo natural)
- Anexo 5. Promedio para la longitud de hoja cotiledónal en laboratorio (datos reales y transformados a logaritmo natural)
- Anexo 6. Promedio para la longitud de raíz en laboratorio (datos reales)
- Anexo 7. Promedio del porcentaje de emergencia en invernadero.
- Anexo 8. Promedio del porcentaje de supervivencia de plántulas a los 35 días después de la siembra en invernadero (datos reales y transformados a logaritmos natural)
- Anexo 9. Promedio del porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra (dds) en invernadero.
- Anexo 10. Promedio de la altura de planta a los 75 días después de la siembra (dds) (datos reales y transformadas con la raíz cuadrada).
- Anexo 12. Promedio del porcentaje de hojas quebradas y deformes a los 50, 75, 90 días después de la siembra. (Invernadero)
- Anexo 13. Promedio del porcentaje de plantas que no formaron fruto (datos reales multiplicados por 10 y transformados a logaritmo natural).
- Anexo 14. Promedio del porcentaje de plantas con la panoja anormal.
- Anexo 15. Promedio del porcentaje de plantas con la panoja vacía.
- Anexo 16. Promedio de la altura de planta después de la cosecha.
- Anexo 17. Promedio de la longitud de raíz después de la cosecha. (Datos reales transformados a logaritmo natural)
- Anexo 18. Promedio del peso de grano por panoja (datos reales multiplicados por 10 y transformados a logaritmo natural).
- Anexo 19. Promedio del porcentaje de supervivencia de plantas antes de la cosecha. (Datos reales y transformados a logaritmo natural).
- Anexo 20. Promedio días a las cosecha.
- Anexo 21. Temperatura máxima, media y mínima registrada durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua en ambiente controlado
- Anexo 22. Ejemplares de quinua de los cuatro tratamientos de las variedades Real blanca y Pasankalla en estado de floración.
- Anexo 23. Ejemplares de quinua de las variedades Puñete blanco y Real negra de los cuatro tratamientos en estado de floración.
- Anexo 24. Ejemplares de quinua de las variedades Pandela tardía y Pandela precoz de los cuatro tratamientos en estado de floración.
- Anexo 25. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Real blanca.
- Anexo 26. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pasankalla.
- Anexo 27. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Puñete blanco.
- Anexo 28. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Real negra.
- Anexo 29. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pandela tardía.
- Anexo 30. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pandela precoz.

## RESUMEN

La búsqueda de especies resistentes y adaptables a zonas marginales como del altiplano boliviano es lo que ha motivado a someter semillas de quinua a un estudio de radiosensibilidad por influencia de radiaciones para en un futuro tratar de inducir mutaciones y generar variaciones genéticas de las cuales puedan seleccionarse los mutantes deseados.

El estudio se realizó en instalaciones del centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-Viacha), dependiente del IBTEN, ubicado en la localidad de Viacha. Departamento de La Paz, Bolivia.

Se utilizó semilla de seis variedades de quinua procedentes de la ONG KURMI (Apoyo al Desarrollo Sostenible Interandino): Real blanca (V1), Pasankalla (V2), Puñete blanco (V3), Real negra (V4), Pandela Tardía (V5) y Pandela precoz (V6), las cuales fueron irradiadas con tres dosis de rayos gamma (100, 200 y 300 Gy) comparadas con un testigo sin irradiar. Las semillas fueron irradiadas en el reactor de Co60 del Hospital de Clínicas - Unidad de radioterapia de la ciudad de La Paz.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos que produce la radiación gamma en semillas de quinua en condiciones de laboratorio e invernadero y determinar la dosis letal media para cada una de las variedades de quinua evaluadas.

Las semillas se evaluaron en condiciones de laboratorio e invernadero. En laboratorio se evaluó el % de germinación, % de supervivencia, longitud de hojas cotiledonales y raíz (cm.) la evaluación se realizó en placas petri de plástico con tres repeticiones.

El ensayo en invernadero fue evaluado bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial con 4 repeticiones. Las diferencias entre los promedios se obtuvieron con la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

Las variables evaluadas en condiciones semi controladas (invernadero) fueron: supervivencia de las plántulas, número medio de días para la emergencia, altura de las plántulas y número de hojas a los 15 y 75 días después de la siembra y a la cosecha, peso de grano por panoja, promedio de días a la cosecha, altura de planta

e inducción de quimeras. Se observó el efecto de la interacción entre variedades y la dosis de irradiación en todos los parámetros.

Al analizar los datos y compararlos con los tratamientos de las semillas sin irradiar se observó que en todos los parámetros evaluados la dosis letal media ( $DL_{50}$ ) o dosis reductiva media ( $GR_{50}$ ) para la variedad Real blanca (190Gy), Pasankalla (200Gy) Puñete blanco (190Gy), Real negra (160Gy), Pandela tardía (180Gy) y Pandela precoz (203Gy).

Se realizaron las pruebas en laboratorio e invernadero; para el porcentaje de germinación, el testigo fue superior respecto a los tratamientos con radiación obteniendo porcentajes mayores al 90% a los 5 días después de la siembra y los tratamientos sometidos a la radiación obtuvieron valores mayores al 90% después de los 5 días después de la siembra, posterior a ello se evaluó la altura de la primera hoja, longitud de raíz y porcentaje de supervivencia de las plántulas en los cuales no se observó diferencias entre tratamientos.

Los resultados obtenidos en invernadero fueron significativos las semillas tratadas con radiación de 200 y 300 Gy presentaron muchas dificultades en el desarrollo normal, las plantas formaron hojas anormales (romboidal) altura de planta inferiores al testigo, porcentajes elevados de aborto en flores, panojas anormales y frutos pequeños.

Así mismo se pudo observar diferencias entre los cultivares sometidas a la radiación, las variedades Pasankalla y Real negra resultaron mas tolerantes que las variedades Real blanca, Puñete blanco, Pandela tardía y Pandela precoz a la radiación gamma.

## 1. INTRODUCCION

El cultivo de quinua viene cobrando cada vez mayor importancia por su diversidad y utilidad en países con fragilidad en sus ecosistemas, sumado a sus bondades nutricionales que satisface las necesidades de alimentación básica (seguridad alimentaria) del productor.

A nivel nacional la producción de quinua es la principal fuente alimenticia e ingresos económicos de gran parte de las comunidades campesinas del Altiplano boliviano sur, central y norte, donde predominan las variedades dulces y amargas de grano mediano y pequeño que en la mayoría de los casos se cultivan en zonas frías, suelos pobres y escasa precipitación.

En Bolivia, la quinua posee variabilidad genética de gran importancia, esta variabilidad permitiría mejorar las características del cultivo a largo plazo, utilizando diferentes métodos de mejoramiento genético.

La utilización de mutaciones inducidas en el mejoramiento genético de las plantas ha permitido la obtención de cultivares de alta adaptación en muchas especies. Sin embargo, su utilización debe estar precedida de ensayos que permitan determinar la dosimetría adecuada, así como familiarizar al mejorador sobre los efectos que las radiaciones tienen sobre el material vegetal utilizado (Singh, 1994).

La inducción de mutaciones es un instrumento valioso para alterar los genes, creando variabilidad genética a través de la recombinación y reconstrucción de los genes.

El método de mejoramiento genético mediante mutaciones inducidas se basa en el principio de que se puede aumentar la proporción de mutaciones, exponiendo plantas o semillas a las radiaciones. Si bajo condiciones naturales ocurren mutaciones útiles, puede suponerse que también se puede producir mutaciones favorables en forma experimental.

La determinación de la radio sensibilidad de los tejidos irradiados se logra exponiendo el material a un rango de intensidades de radiaciones y seleccionando aquellas dosis que permitan observar efectos visibles de la radiación pero manteniendo una supervivencia de los tejidos. Esta dosis optima esta asociada con la Dosis letal media ( $DL_{50}$ ) (Tulmann - Neto, 1997).

El presente trabajo se realizó con el objeto de estudiar el efecto de diferentes dosis de rayos gamma sobre la germinación de las semillas y posterior crecimiento de las plántulas de seis variedades de quinua en condiciones de invernadero, obtenida de la ONG Kurmi (Apoyo al Desarrollo Sostenible Interandino).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

- Evaluar seis variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) irradiadas con tres dosis de rayos gamma cobalto 60 (Co-60) en laboratorio y condiciones semi-controladas de invernadero.

### 2.2 Objetivo Específico

- Evaluar la semilla irradiada con tres dosis de irradiación rayos gamma cobalto 60 (Co-60) de seis variedades de quinua en laboratorio.
- Evaluar las modificaciones morfológicas en la población uno (M1), por el efecto de tres dosis de irradiación con rayos gamma cobalto 60 (Co-60) en seis variedades de quinua en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Determinar la dosis letal media y la dosis de irradiación para la inducción de mutaciones positivas con cobalto 60 (Co-60) en seis variedades de quinua.



### 3. Revisión Bibliográfica

#### 3.1 Características del cultivo.

##### 3.1.1 Clasificación taxonómica de la quinua

Este cultivo fue descrito por primera vez por el científico Alemán Luís Christian Willdnow.

Reino	:	<i>Vegetal</i>
División	:	<i>Fanerógamas</i>
Clase	:	<i>Dicotiledóneas</i>
Sub-clase	:	<i>Angiospermales</i>
Orden	:	<i>Centrospermales</i>
Familia	:	<i>Chenopodiceas</i>
Género	:	<i>Chenopodium</i>
Especie	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd

(FAO, 2001)

##### 3.1.2 Variabilidad genética

León (2003); menciona sobre la quinua las siguientes características genéticas:

La quinua es una especie tetraploide, constituida por 36 cromosomas somáticas, esta constituido por 4 genómios, con un número básico de 9 cromosomas ( $4n = 4 \times 9 = 36$ ). El color de las plantas de quinua es un carácter de herencia simple; en cambio el color de los granos es por la acción de agentes complementarios, resultando el color blanco un carácter recesivo.

En quinua el tipo de inflorescencia puede ser amarantiforme o glomerulada, donde esta ultima es dominante sobre la primera.

El contenido de saponina en quinua es heredable, y el carácter dulce es recesivo.

La saponina se ubica en la primera membrana. Su contenido y adherencia en los granos es muy variable ha sido motivo de varios estudios y técnicas para eliminarla, por el sabor amargo que confiere al grano (Gandarillas, 2001), que el carácter amargo o contenido de saponina estaría determinado por un simple gen dominante.

Sin embargo, la presencia de una escala gradual de contenido de saponina indicaría más bien su carácter poligénico.

### **3.2 Descripción Botánica de la quinua**

La quinua, es una planta herbácea anual, de amplia dispersión geográfica, las características de su morfología, coloración y comportamiento son diferentes en zonas agro-ecológicas donde se cultiva (Mujica *et al.*, 2004).

**La planta.** Es erguida, alcanza alturas variables desde 30 a 300 cm., dependiendo del tipo de quinua. (Mujica *et al.*, 2004).

**La raíz.** Es fibrosa, pivotante, vigorosa y su profundidad guarda estrecha relación con la altura de la planta (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

**El tallo.** Es erecto, cilíndrico, poliédrico, glabro angular y según su tipo de ramificaciones puede presentarse con un tallo principal y varias ramas laterales cortas (altiplano) o puede presentar ramas de igual tamaño (valles interandinos). El tallo puede presentar colores que van desde verde, rojo, púrpura o amarillo. La ramificación depende de la variedad, de la distancia de siembra (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

**Las hojas.** Son simples, alternas y poseen pecíolo largo, fino y acanalado, la forma de la hoja varia, en la parte inferior es grande, romboidales y triangulares y en la superior pequeñas y lanceoladas, presenta bordes dentados, aserrados o lisos, la coloración de la hoja es muy variables del verde al rojo con diferentes tonalidades (FAO, 2001).

**La inflorescencia.** Denominada panícula o panoja, de forma glomerulada o amarantiforme, y son de aspecto laxo y compacto. El largo de la panoja varía entre 15 y 70 cm. Si los glomérulos nacen directamente del eje secundario, la panoja es glomerulada. Si los glomérulos nacen de ejes terciarios, la panoja es amarantiforme. Si los ejes y los pedículos de la panoja son cortos es compacta; si son largas es laxa (GTZ; IICA; INIAP; ERPE; 2001).

**Las flores.** Se agrupan en glomérulos, poseen cinco sépalos, ovario supero con tres estigmas rodeados por androceo con cinco estambres, estilo bifurcado, carece de pétalos y puede ser hermafrodita o pistilada, también androestériles (hermafrodita con polen no viable y estambres atrofiados). La planta de quinua tiene tres tipos de flores, que pueden estar presentes en la misma planta (GTZ; IICA; INIAP; ERPE; 2001).

**El fruto.** Es aquenio cubierto por perigonio, el color del fruto esta dado por el perigonio y se asocia directamente a la planta, donde puede ser verde, púrpura o rojo (Tapia, 1979).

**La semilla.** Es el fruto maduro sin perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma. El embrión está formado por dos cotiledones, la radícula que constituye el 30% del volumen total de la semilla el cual envuelve al perisperma como un anillo (Ibid 1979; citado por Tagle y Planella, 2002).

### 3.3 Fases fenológicas

Las fases fenológicas definen los diferentes estados de desarrollo y crecimiento del ciclo biológico de la planta.

**Fase de germinación.** El grano se hincha con cierta cantidad de humedad. Después de 48 horas la semilla desplaza a los cotiledones y la radícula (GTZ; IICA; INIAP, ERPE; 2001).

**Fase de emergencia.** Es cuando la plántula sale del suelo y extiende las hojas cotiledonales, esto ocurre de los 7 a 10 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de dos hojas verdaderas.** Es cuando fuera de las hojas cotiledonales, que tienen forma lanceolada, aparecen dos hojas verdaderas extendidas que poseen forma romboidal, ocurre de los 15 a 20 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de cuatro hojas verdaderas.** Se observa dos pares de hojas verdaderas extendidas y aun están presentes las hojas cotiledonales de color verde; ocurre de los 25 a 30 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de seis hojas verdaderas.** En esta fase se observa tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales se tornan de color amarillento; esta fase ocurre de los 35 a 45 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de ramificación.** Se observa ocho hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas cotiledonales se caen y dejan cicatrices en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto las panojas, ocurre de los 45 a 50 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase inicio de panojamiento.** La inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, observando alrededor aglomeración de hojas pequeñas, ocurre a los 55 a 60 días después de la siembra, así mismo se puede apreciar amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de panojamiento.** La inflorescencia sobresale por encima de las hojas, notándose los glomérulos que los compone; se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individualizados, ocurre de los 65 a 70 días después de la siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de inicio de floración.** La flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, ocurre de los 75 a 80 días después de siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de floración o antesis.** La floración es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, lo que ocurre de los 90 a 100 días después de siembra (Mújica y Canahua, 1989).

**Fase de grano pastoso.** La planta está todavía verde, el grano es suave, aplastándole sale una masa lechosa. Esto ocurre de los 100 a 130 días después de la siembra (GTZ; IICA; INIAP; ERPE; 2001).

**Fase de grano pastoso.** La planta pierde su coloración original, se torna amarilla; ha soltado casi todas sus hojas, el grano presenta resistencia a la uña y consistencia de color blanco por lo tanto se indica que es momento para la cosecha manual, lo cual ocurre entre los 130 a 160 días después de la siembra (GTZ; IICA; INIAP; ERPE; 2001).

**Fase de madurez fisiológica.** El grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración, ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra, el contenido de humedad varía de 14 a 16%, asimismo en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta y su defoliación (Mujica, *et al.* 2004).

### **3.4 Distribución geográfica**

#### **3.4.1 Quinuas altiplánicas**

Crece en lugares aledaños al lago Titicaca a una altura de 3 800 m.s.n.m., estos cultivos se caracterizan por tener buena resistencia a las heladas, son bajos en tamaño, no ramificados (tienen un solo tallo y panoja terminal que es glomerulada densa), llegan a tener una altura de 1.00 a 2.00 m., con periodo vegetativo corto, se tiene quinuas precoces como: chewecca, surumi huganda etc. (León, 2003).

#### **3.4.2 Quinuas de los salares**

Son nativas de los salares de Bolivia, como su nombre lo indica son resistentes y se adaptan a suelos salinos y alcalinos, los granos son amargos y tienen alto porcentaje de proteínas miden de 1 a 1.5 m. de altura, presentan un solo tallo desarrollado; tenemos: la real blanca boliviana, ratuqui, maniqueña, toleró etc. (León, 2003).

#### **3.4.3 Quinua de los valles**

Crece en los valles interandinos de 2000 a 3600 m.s.n.m., se caracterizan porque tienen gran desarrollo, pueden llegar de 2 a 2.5 m de altura, son ramificadas, su periodo vegetativo es largo, con panojas laxas, con inflorescencia amarantiforme, son tolerantes al mildiu, en este grupo tenemos a la blanca de Junín, amarilla de Marangani y rosada de Junín (en su mayoría variedades del Perú) (León, 2003).

#### **3.4.4. Quinuas al nivel del mar**

En su generalidad son del sur de Chile, no ramificadas, los granos son de color amarillo a rosados y a su vez amargas, en el sur de Chile en Concepción, las quinuas se caracterizan por tener un foto período largo y la coloración de los granos de color verde intenso y al madurar toman una coloración anaranjada y los granos son de tamaño pequeño y de color blanco o anaranjado (León, 2003).

#### **3.5 Mutaciones**

La mutación es un cambio súbito que ocurre en el material hereditario de una planta y que se transfiere de generación en generación (Montoya, 2007).

Robles (1991); conceptúa a la mutación como una variación brusca que es hereditaria y que resulta por cambios en el gene o genes afectados. El término se usa más bien indefinidamente para designar mutaciones de un solo gene y deleciones, reacomodos, duplicaciones, cambios, quimeras y aun cambios en el número de cromosomas.

Orellana (2007); cita que las mutaciones se refieren a cualquier cambio del material genético de las células, debido a fenómenos de recombinación o segregación, que se transmite a las células hijas y generaciones sucesivas dando lugar a células e individuos mutantes.

Sánchez (2005); menciona que las mutaciones pueden ser: naturales (espontáneas) o inducidas (provocadas artificialmente con radiaciones, sustancias químicas u otros agentes mutágenos).

Elliot (1964); clasifica las mutaciones en tres tipos:

- a) Aquellas en las que ocurre cambio en la estructura química del gen (mutación genética o de punto)
- b) Alteraciones cromosòmicas (translocaciones, inversiones y duplicaciones).
- c) Las que implican cambios en el número de cromosomas.

### **3.6 Mejoramiento genético de plantas con la aplicación de radioisótopos.**

Según Vries (1975); citado por Cruz-Coke (2003); indica que las mutaciones se pueden originar de irradiaciones gamma, X u otras, también por el uso de sustancias mutagénicas; y se pueden provocar mutaciones en semillas o en formas de reproducción vegetativa.

El mismo autor indica que la frecuencia de mutaciones es mayor en semillas envejecidas, pero es más recomendable que sea en semillas nuevas para asegurar mayor porcentaje de germinación.

Zamudio (2005); menciona que, al aplicar genes mutagénicos (Sustancias químicas o naturales, radiaciones ionizantes, etc.) a los granos, brotes jóvenes, granos de polen o aun a las plantas enteras, se pueden obtener variaciones genéticas hereditarias por la vía sexual o transmisible por multiplicación vegetativa.

(IAEA, 1995). Las semillas son el material favorito para la irradiación en muchos experimentos de inducción de mutaciones y en el mejoramiento práctico. Las semillas pueden ser tratadas en muchos ambientes, calentadas o congeladas, también pueden ser mantenidas por largo tiempo en un ambiente adecuado.

#### **3.6.1 Empleo de las mutaciones**

Las mutaciones inducidas representan una herramienta para incrementar la variabilidad de los organismos. Muchas veces la variabilidad causada por estas no difiere de la causada por las mutaciones que se producen en forma natural por efecto de la evolución (OIEA, 1977).

#### **3.6.2 Efecto de las mutaciones inducidas**

Ascarrunz y Olivares (2000); describen los efectos que producen las radiaciones en; microlesiones y macrolesiones:

**a) Microlesiones**, se tiene la sustitución de pares de bases que producen cambios cualitativos en uno o pocos pares de bases; adición o delección de pares de bases que ocasiona cambios cuantitativos en uno o pocos pares de bases.

**b) Macrolesiones.** Son los cambios numéricos dando lugar a trisomías, tetrasomías o poliploidías. Los cambios en la estructura pueden ser: deleciones, translocaciones, inversiones, etc. con anomalías diversas en los individuos.

Sus manifestaciones, dependen de la naturaleza del daño sobre las células germinales o somáticas.

### 3.6.3 Clasificación de las mutaciones.

Así también Ascarrunz y Olivares (2000); clasifica las mutaciones según el daño en el tejido o célula

#### 1. Mutaciones en las células somáticas

Si la exposición de las células somáticas es directa, solo se vera afectado el soma del individuo y por tanto no es transmisible, el daño es acumulativo en función al tiempo ocasionando alteraciones que a su vez producen malformaciones y envejecimiento o la muerte del individuo.

#### 2. Mutaciones en las células germinales.

Esta puede ser transmitida por los gametos a la descendencia, perpetuándose en la población y originando individuos que llevan la mutación, tanto en las células somáticas y las germinales. Estas mutaciones pueden manifestarse como; dominantes letales y alteraciones transmisibles.

- a) Las mutaciones dominantes letales, ocasionan una alta frecuencia de abortos y si la vida del individuo continua la descendencia será portadora de malformaciones congénitas.
- b) Las alteraciones transmisibles, causan desordenes en la estructura del DNA, dando una secuencia diferente de nucleótidos, provocando anomalías transmisibles; como los errores congénitos del metabolismo

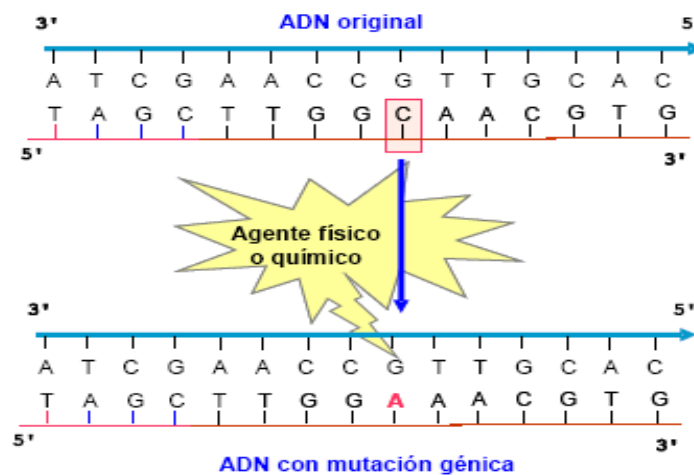


### 3.7 Mutación inducida

Las mutaciones se logran en la actualidad sometiendo el material vegetal a la acción de agentes físicos o químicos, estos agentes producen:

Modificaciones en el mapa genético de una planta en una posición del código genético, creando una variante que es distinta de la planta progenitora (IAEA, 2008).

Figura 1. Modificaciones génicas, mediante la sustitución de pares de bases.



Fuente: Sánchez, 2005

#### 3.7.1 Agentes mutagénicos

Suárez (2005); menciona que en el mejoramiento mediante inducción de mutaciones se utilizan básicamente dos tipos de agentes mutagénicos.

##### 1. Mutágenos químicos.

La mayoría de ellos pertenecen al grupo de los agentes alquilantes: metanosulfonato de etilo (EMS), sulfato de dietilo (DES) y los compuestos nitrosos como la N-metil-N-nitrosourea (MNH). Una sustancia química de interesantes características, cuya utilización como inductor de mutaciones es la ácida sódica (Suárez, 2005).

##### 2. Radiaciones

Se clasifican en ionizantes y no ionizantes. Las primeras pueden ser ondulatorias (Rayos X o Gamma) o corpusculares (Rayos  $\alpha$ ,  $\beta$ , protones,

neutrones, etc.), estos son capaces de arrancar electrones de los átomos que constituyen los materiales por los que atraviesan; debido a la alta energía que contienen. Por su parte, entre las no ionizantes parece ser únicamente la radiación ultravioleta tener efectos mutagénicos (Ascarrunz y Olivares, 2000).

### **3.7.2 Rayos gamma**

Los rayos gamma han sido los más eficientes tanto en las plantas que se propagan por semilla como en las que se propagan vegetativamente. Actualmente es uno de los métodos más utilizados. (Beshost, 1965).

Beshost (1965); añade, Las mutaciones de vegetales pueden ser efectuadas sometiendo estos a la acción irradiante de una fuente radioactiva como el cobalto 60.

Debido a su mayor poder de penetración, la radiación gamma es la que se usa para las aplicaciones en agronomía, para modificar las características de las plantas, semillas, etc. (Domínguez, 1999)

### **3.7.3 Unidades de medida de la radiación**

Rad y Gray (Gy): Actualmente el sistema internacional de medidas utiliza como unidad de radiación absorbida al Grey (Gy), que equivale a la energía absorbida por kilogramo de sustancia irradiada. (SERNAC, 2010).

### **3.8 Efecto de la radiación en las plantas tratadas con cobalto 60.**

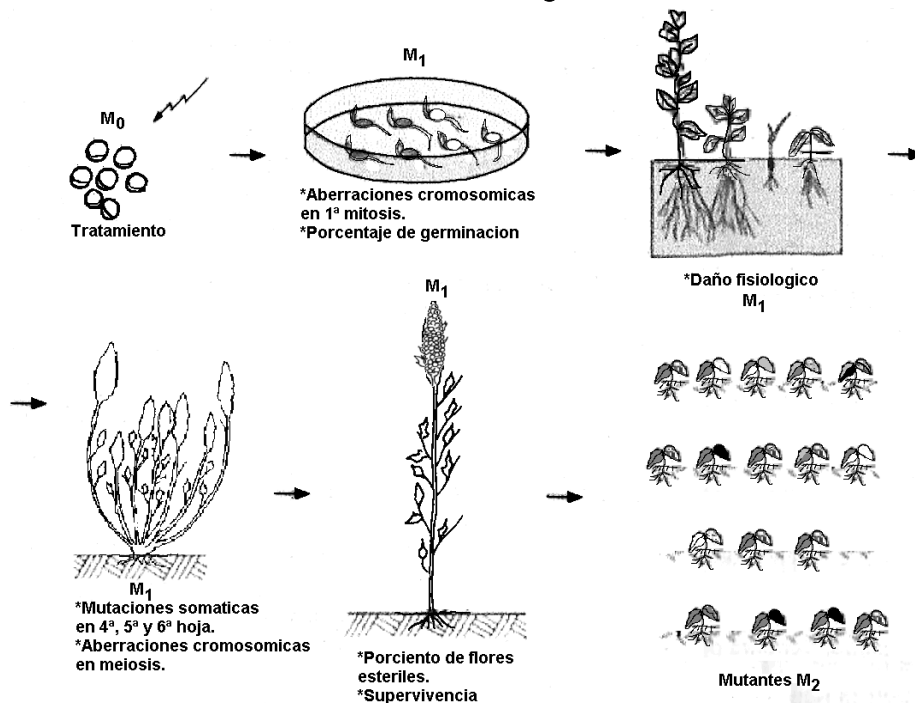
Los caracteres modificados mediante la inducción de mutaciones en las plantas generalmente son morfológicos, que incluye una reducción de altura, cambios en la forma de hojas y en el diámetro de tallo (Montoya, 2007).

Otra característica importante que cambia en la mutación es la precocidad y el rendimiento, resistencia a microorganismos, insectos, adaptación, la facilidad de cosecha y la resistencia al frío de las variedades tratadas con rayos gamma (Montoya, 2007).

En algunos casos, el cambio es de tal magnitud que el ser se convierte en estéril (Romero, 1989).

Las semillas tratadas suelen perder poder germinativo, en un grado que depende de la reacción de la especie y de la variedad de que se trate y de la intensidad de la radiación. Las plantas que produzcan las semillas tratadas pueden variar desde muy débiles hasta normales es en su apariencia (Phoelman, 1992).

**Figura 2. Esquema de las principales etapas en que se registran los efectos de los tratamientos mutagénicos**



Fuente: Prina *et al*, 1988.

### 3.9 Mejoramiento genético de la quinua mediante inducción de mutaciones.

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 la Universidad Nacional Agraria de La Molina se está utilizando actualmente la radiación gamma, en quinua de la variedad pasankalla.

Gómez *et al.*, (2008), a probado diferentes dosis de irradiación con Co 60 (150, 250 y 350 Gy) en quinua, obteniendo así la dosis letal media para la variedad Pasankalla de 250 Gy.

La quinua, por ejemplo, respondió erráticamente al tratamiento por irradiación (Montoya, 2007).

El tiempo del desarrollo de las hojas cotiledonales y las hojas verdaderas de quinua comprendidos entre la germinación y el desarrollo de las hojas verdaderas se alargan en un promedio de 2 a 3 días más que el testigo (Gómez *et al.*, 2008).

La misma autora añade que la longitud de las raíces (cm.) y altura de plántulas (cm.) de la quinua Pasankalla evaluadas en laboratorio disminuyen su longitud en un 30 hasta 60%, que fueron irradiadas con rayos gamma a las dosis de 0, 150, 250 y 350Gy.

Así también Montoya (2007); menciona que la mayor parte de las variedades mejoradas son cereales, incluida la quinua y que más o menos incluyen 90 especies a nivel mundial.

La quinua en virtud a su alto valor nutritivo ha sido objeto de mejoramiento por mutagénesis, habiéndose logrado reducir en un 90% su contenido de saponinas. (De la Cruz *et al.*, 1996).

En México, se han obtenido variedades de aguacate de menor altura, que facilita la recolección en la cosecha; así como variedades mejoradas de quinua con mayor rendimiento y mejores contenidos de proteína (González *et al.*, 1997).

### **3.10 Determinación de la radiosensibilidad**

La utilización debe estar precedida de ensayos que permitan determinar la dosimetría adecuada, así como familiarizar al mejorador de los efectos que las radiaciones tienen sobre el material vegetal utilizado (Singh, 1994).

La dosis letal media (DL50) es aquella concentración de una sustancia, que al ser administrada por cualquier medio o vía de ingreso (oral o dermal por ejemplo), en un periodo de tiempo definido mata el 50% de la población de seres vivos evaluada (Silva, 1998).

La determinación de la radiosensibilidad de los tejidos se logra exponiendo el material a un rango de intensidades de radiaciones y seleccionando aquellas dosis que permitan observar efectos visibles de la radiación pero manteniendo una

supervivencia de los tejidos. Esta dosis óptima esta asociada con la dosis Letal media (DL<sub>50</sub>) y la dosis Reductiva Media (GR<sub>50</sub>) (Tulman-Neto, 1997).

La radiosensibilidad se determina midiendo la altura a los 21 días después de la germinación en plántulas procedentes de semillas irradiadas y no irradiadas (control) y se calcula la reducción del crecimiento. Las dosis de radiación determinadas se encuentran entre 200 - 350 Gy, y estas dosis corresponden con una reducción del crecimiento del 10 - 30 % (Créatelo, 2006).

Dependiendo de lo que se busca, el material a irradiarse puede someterse a dosis altas si se quiere obtener translocaciones de cromosomas y rupturas lo que provocaría o bien cambios drásticos en la estructura de la planta o regresión evolutiva y si lo que se busca es mejorar positivamente las características de una planta se deberá someter a dosis bajas (Créatelo, 2006).

### **3.10.1 Factores que modifican la radiosensibilidad.**

Conger y Konzac, (1977); citados por González, (2002); mencionan que los tratamientos mutagénicos pueden ser modificados en su efectividad y su eficiencia sobre las células de las plantas superiores por factores biológicos ambientales y químicos. Influyendo en la frecuencia de las mutaciones y de las aberraciones cromosómicas, sin embargo algunos de los factores pueden ser controlados.

*Oxígeno.* Modifica los efectos genéticos y daños por radiaciones X y gamma en semillas en dormancia.

*Contenido de agua.* Contenidos por encima del 14% de humedad incrementan la sensibilidad a las radiaciones X y gamma.

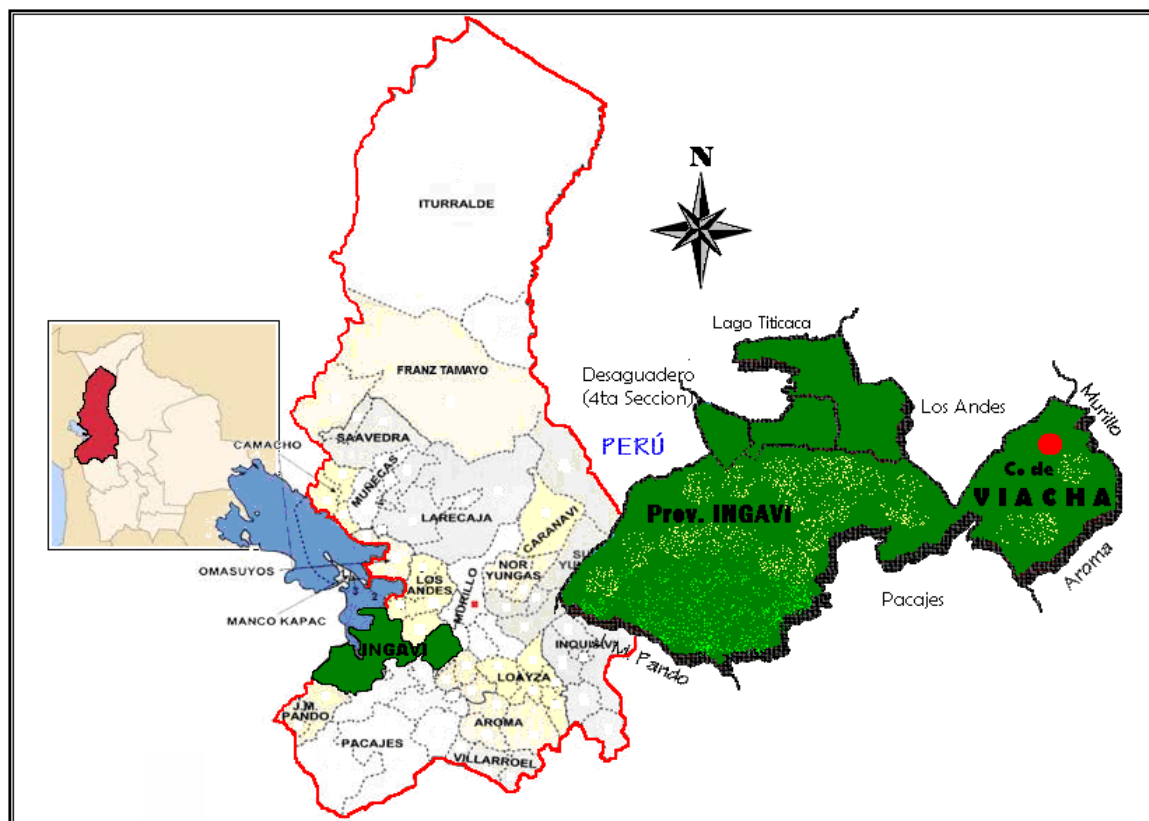
*Almacenamiento post-irradiación.* Puede modificar la respuesta biológica de la semilla irradiada que dependerá de la humedad y la exposición al oxígeno antes, durante y después de la irradiación.

*Temperatura de las células.* Antes, durante y después de la radiación, afecta al contenido total del daño genético.

## 4. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se realizó en instalaciones del Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN) como se muestra en la figura 3, el mismo se encuentra en la provincia Ingavi a 3 Km. de la ciudad de Viacha y a 35 Km. de la ciudad de La Paz, ubicado geográficamente entre los paralelos 16°39'25" Latitud Sud y 68°18'00" Longitud Oeste y a una altitud de 3850 m.s.n.m.

Figura 3. Ubicación geográfica del IBTEN-VIACHA



Fuente: Elaboración propia

### 4.1 Descripción climatológica

Las características climáticas están dadas por los siguientes parámetros según el INE (2005), la topografía presenta un relieve ondulado, con presencia de serranías, un clima predominante frío con temperatura promedio de 7,5 °C, temperatura mínima absoluta -3,4°C y una temperatura máxima de 16,6°C, humedad relativa del 58%, precipitaciones de 500 a 542mm/año y un promedio de 200 días con helada.

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Materiales

#### 5.1.1 Material Vegetal

El material vegetal utilizado fue semilla de calidad certificada de seis variedades de Quinoa proveniente de la ONG KURMI (Apoyo al desarrollo sostenible interandino), la institución irradió la semilla en el hospital de Clínicas de la ciudad de La Paz con diferentes dosis de rayos gamma (100, 200, 300 Grey) cobalto 60 (Co-60). La semilla presenta las siguientes características particulares.

**Real blanca (V1)** Se caracteriza por tener hábito de crecimiento erecto, panoja glomerulada, tamaño de planta mediana de 87 cm. de altura, color de planta verde, con periodo vegetativo de 133 días, color de grano perla y de tamaño mediano (0,21 mm), con bajo contenido de saponina, susceptible al ataque de mildiu, con un peso promedio de grano por panoja 3,55 g.

**Pasankalla (V2)** Planta de crecimiento erecto con una altura de 68 cm. (planta grande), color púrpura a la floración y a la madurez, periodo vegetativo de 168 días (tardía), panoja amarantiforme, grano de tamaño mediano (1,8 mm de diámetro), púrpura, amarga, con saponina, medianamente resistente al mildiu, peso promedio de grano por panoja 6,42 g.

**Puñete blanco (V3)** Planta con hábito de crecimiento erecto, panoja glomerulada, con altura de planta de 57 cm., color de planta verde, con 154 días de período vegetativo, de grano mediano (2 mm), poco amarga y blanca, poco susceptible al ataque de mildiu, peso de grano por panoja de 4,9 g.

**Real negra (V4)** Planta con hábito de crecimiento erecto, panoja glomerulada, verde antes de la madurez y negra a la cosecha, con altura de planta 51 cm., con 139 días de período vegetativo, de grano pequeño (1.9 mm.), amargo y negro, poco susceptible al ataque de mildiu, peso promedio de grano por panoja de 4.14 g.

**Pandela tardía (V5)** presenta un ciclo vegetativo de 164 días (tardío), con hábito de crecimiento erecto con ramas cortas, altura promedio de 61cm, la panoja presenta forma glomerulada. El grano es de tamaño mediano con un diámetro de 2.2 mm, su color antes del beneficiado es rosado intenso y después de beneficiado presenta un color rosado perlado, peso promedio de grano por panoja 5,13 g.

**Pandela precoz (V6)** ciclo vegetativo de 146 días, alcanza una altura promedio de 69 cm., habito de crecimiento erecto, la panoja presenta forma glomerulada. El grano es de tamaño mediano (2,1 mm.) el color antes del beneficiado es verde y a la madurez crema rosado, peso promedio de grano por panoja de 3,69 g.

## **5.2 Método**

### **5.2.1 Procedimiento Experimental**

El trabajo en campo y laboratorio consistió en la realización de diferentes labores, las cuáles se detallan a continuación:

#### **5.2.1.1 Trabajo de laboratorio**

Para las pruebas de germinación en laboratorio se utilizaron 72 placas petri de plástico de 5 cm. de diámetro y 1 cm. de alto, se utilizo papel secante que se moldeo a la medida del diámetro de las cajas petri, una vez obtenido el papel se procedió acomodar en los recipientes, luego se preparo el material biológico, contando 100 semillas de quinua de cada tratamiento con tres repeticiones, después se procedió a humedecer con una piseta el papel con agua destilada en las cajas petri y colocar las semillas de quinua con la ayuda de las pinzas, finalmente se coloco todas los recipientes en una mufla a una temperatura constante de 25°C.

Se empezó a observar y evaluar el contenido de humedad y estado de las semillas al día siguientes, no se humedeció las semillas el primer día por que la humedad al momento de la revisión en los recipientes era óptima.



Al momento de la evaluación se realizó el conteo de las semillas que presentaron la radícula desarrollada, en los siguientes días se le agregó agua a las cajas petri con las semillas y se continuó con el conteo de las semillas germinadas, el sexto día se procedió a la medición con una regla de la radícula y el hipocotilo de las plántulas y por último al octavo día se registró el porcentaje de plántulas vivas de todos los tratamientos.

## **5.2.1.2 Trabajo en invernadero**

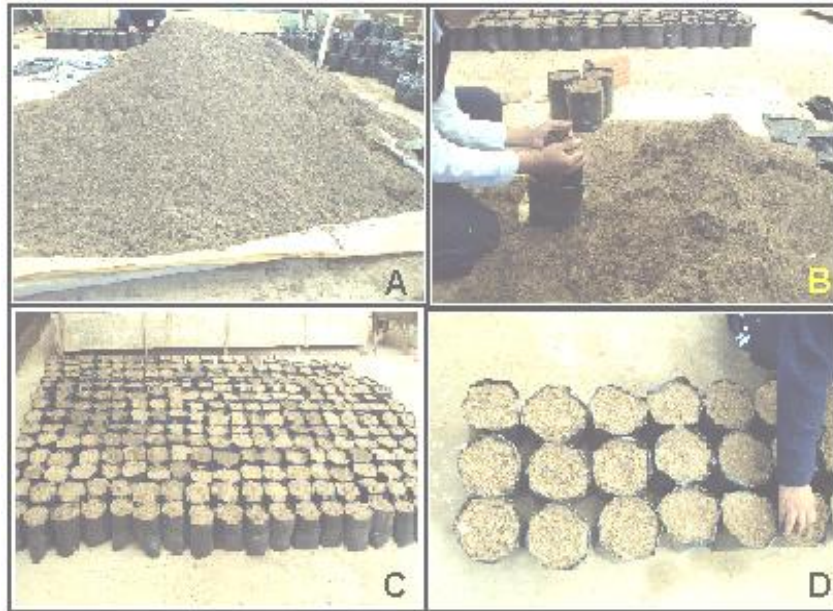
### **5.2.1.2.1 Preparación del ambiente**

Antes de establecer el estudio y previa ubicación de las unidades experimentales, se procedió a la limpieza y preparación del ambiente donde se mezcló el sustrato y se establecieron las unidades experimentales.

Luego se reunió todos los materiales que se utilizaron en la preparación del sustrato como ser una pala, carretilla, manguera y una lona para realizar el mezclado de cada componente del sustrato.

### **5.2.1.2.2 Preparación del sustrato.**

Se preparó una mezcla con una relación de (2:1:2) 2 partes de arena, 1 de turba y 2 partes de tierra del lugar. Se utilizaron bolsas de nylon de color negro de 22 cm. de ancho por 33 cm. de alto en las que se colocó el sustrato previa ligera compactación para evitar que cuando se riegue el sustrato se asiente a la mitad de la bolsa, al final se abrió dos agujeros en cada maceta para la siembra de la semilla.



**Figura 4. Preparación del sustrato (A), embolsado (B), Bolsas con sustrato (C), apertura manual de hoyos para la siembra (D).**

#### **5.2.2.2.3 Siembra.**

La siembra se realizó en forma manual, colocando 2 semillas en cada agujero (dos agujeros por maceta) uno por uno en las macetas y una profundidad de 1.5 cm. a comienzos del año 2010.

#### **5.2.2 Manejo agronómico**

##### **5.2.2.1 Riego.**

Se aplicó riego de fondo a las unidades experimentales para homogeneizar la humedad del sustrato, antes de la siembra. Posteriormente con la ayuda de una regadera se aplicaron riegos cada 2 días durante todo el ciclo vegetativo.

##### **5.2.2.2 Entutorado**

Para el entutorado se utilizó estacas (Eucalipto) de 0.50 a 1.50 m de largo que fueron previamente desinfectadas con agua destilada y cloro en una relación de 1:1 (1ml de cloro por cada litro de agua) las estaca se colocaron a la planta, esta actividad se realizó a partir de los 45 días después de la siembra donde se observó que las plantas empezaron a elongarse y caer, estas fueron clavadas en cada

maseta según el número de plantas que existía fueron amarradas cuidadosamente y suspendidas eventualmente de acuerdo al desarrollo de las plantas.

### **5.2.2.3 Aporque.**

El aporque consistió en la adición de sustrato para el mejor soporte de la planta, durante el desarrollo del cultivo. Se realizó preparando el mismo sustrato utilizado para la siembra se realizó dos aporques, el primero a los 30 días después de la siembra, (2 partes de arena 1 de turba y 2 de tierra del lugar), y el segundo antes de la floración.

### **5.2.2.4 Control fitosanitario.**

Se realizaron dos aplicaciones para el control fitosanitario, los productos utilizados fueron insecticidas, el primero se realizó antes de la floración con insecticida (curacron relación 1:1) por que se observó la existencia de polilla debido a la presencia del cultivo de papa, pero esta no afectó al cultivo de quinua. En cuanto a enfermedades se presentó el mildiu (*Peronospora farinosa* Fr.) afectando a un 10% del cultivo para ello se aplicó un funguicida e insecticida (funguicida y curacron en una relación de 1:1) la enfermedad se observó en la parte inferior o envés de las hojas como áreas amarillentas o rojizas previo a la fase de panojamiento; además del control químico se realizó podas para eliminar las hojas afectadas.

### **5.2.2.5 Cosecha**

La cosecha se realizó de forma manual utilizando una palita, a los 120 días después de la siembra de las variedades Real blanca y Pandela precoz luego las otras variedades de manera separada debido a que tuvieron madurez fisiológica diferenciada. El momento de la cosecha fue determinándose a través del indicador del color de la planta, se reconoce la fase de madurez fisiológica cuando las hojas cambian de coloración y las hojas inferiores se secan y caen.

Se cosechó extrayendo toda la planta desde la raíz según llegaban a la madurez fisiológica, registrándose la altura de planta y la raíz.

### 5.2.2.6 Trilla y limpieza de granos

Fueron realizados de forma manual; la trilla se realizó mediante el frotado manual de la panoja sobre un recipiente cóncavo (plato). Todo esto se realizó con la finalidad de separar los granos del resto de la panoja (broza), después de realizar dichas actividades el grano de cada panoja se embolso y etiquetó para su posterior pesado y almacenado.

### 5.2.3 Diseño experimental

El ensayo fue analizado bajo un diseño completamente al azar con dos factores y 4 repeticiones, el modelo lineal aditivo se realizó según el modelo utilizado por Calzada (1982).

#### 5.2.3.1 Tratamientos

Los tratamientos fueron las seis variedades de quinua (Factor A) y cuatro dosis de radiación (Factor B), por lo cual se tuvieron veinticuatro tratamientos con cuatro repeticiones. En total se observó mil cuatrocientos cuarenta plantas, los tratamientos se plantearon de la siguiente forma:

Factor A: Variedades de quinua (a1, a2, a3, a4, a5, a6)

Factor B: Dosis de radiación con rayos gamma cobalto 60 (b1, b2, b3, b4)

**Cuadro 1. Formulación de tratamientos**

FA: Variedad	FB: Dosis de radiación (Gy)	Tratamiento	FA: Variedad	FB: Dosis de radiación (Gy)	Tratamiento
Real blanca	0	a1b1	Real negra	0	a4b1
	100	a1b2		100	a4b2
	200	a1b3		200	a4b3
	300	a1b4		300	a4b4
Pasankalla	0	a2b1	Pandela tardía	0	a5b1
	100	a2b2		100	a5b2
	200	a2b3		200	a5b3
	300	a2b4		300	a5b4
Puñete blanco	0	a3b1	Pandela precoz	0	a6b1
	100	a3b2		100	a6b2
	200	a3b3		200	a6b3
	300	a3b4		300	a6b4

Gy = Grey (unidad de mediada de la radiación)

Donde:

1. a1b1 = Variedad Real blanca + Testigo (0 Gy)
2. a1b2 = Variedad Real blanca + Dosis de radiación 100 Gy.
3. a1b3 = Variedad Real blanca + Dosis de radiación 200Gy
4. a1b4 = Variedad Real blanca + Dosis de radiación 300 Gy
5. a2b1 = Variedad Pasankalla + Testigo (0 Gy)
6. a2b2 = Variedad Pasankalla + Dosis de radiación 100 Gy.
7. a2b3 = Variedad Pasankalla + Dosis de radiación 200Gy
8. a2b4 = Variedad Pasankalla + Dosis de radiación 300 Gy
9. a3b1 = Variedad Puñete blanco +Testigo (0 Gy)
10. a3b2 = Variedad Puñete blanco + Dosis de radiación 100 Gy.
11. a3b3 = Variedad Puñete blanco + Dosis de radiación 200Gy
12. a3b4 = Variedad Puñete blanco + Dosis de radiación 300 Gy
13. a4b1 = Variedad Real negra + Testigo (0 Gy)
14. a4b2 = Variedad Real negra + Dosis de radiación 100 Gy.
15. a4b3 = Variedad Real negra + Dosis de radiación 200Gy
16. a4b4 = Variedad Real negra + Dosis de radiación 300 Gy
17. a5b1 = Variedad Pandela tardía + Testigo (0 Gy)
18. a5b2 = Variedad Pandela tardía + Dosis de radiación 100 Gy.
19. a5b3 = Variedad Pandela tardía + Dosis de radiación 200Gy
20. a5b4 = Variedad Pandela tardía + Dosis de radiación 300 Gy
21. a6b1 = Variedad Pandela precoz + Testigo (0 Gy)
22. a6b2 = Variedad Pandela precoz + Dosis de radiación 100 Gy.
23. a6b3 = Variedad Pandela precoz + Dosis de radiación 200Gy
24. a6b4 = Variedad Pandela precoz + Dosis de radiación 300 Gy

### 5.2.3.2 Modelo lineal

Según Calzada (1982)

$$\text{Donde: } x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$x_{ijk}$  = Una observación cualquiera.

$\mu$  = Media general.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel de las variedades de quinua

$\beta_j$  = Efecto del j-esimo nivel de la dosis de irradiación de Cobalto 60

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Interacción del i-esimo nivel de las variedades de quinua con el j-esimo nivel de dosis de irradiación de cobalto 60

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental

## 5.2.4 Variables de respuesta

Las variables de respuesta que se tomaron en cuenta en el presente trabajo de investigación fueron las variables fenológicas, agronómicas y los cambios en la morfología de las plantas por el efecto de la radiación.

### 5.2.4.1 Variables de crecimiento y desarrollo en laboratorio

- **Porcentaje de germinación**

Se determinó en laboratorio, contabilizando 100 semillas de cada variedad que fueron colocadas en cajas petri sobre papel secante humedecido con agua destilada, se registró la germinación a los 2, 3 y 5 días después de la siembra, a una temperatura constante de 25°C. El porcentaje de germinación se calculó según la siguiente fórmula.

$$\% \text{Germinación} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ semillas germinadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de semillas totales}} * 100\%$$

- **Porcentaje de supervivencia**

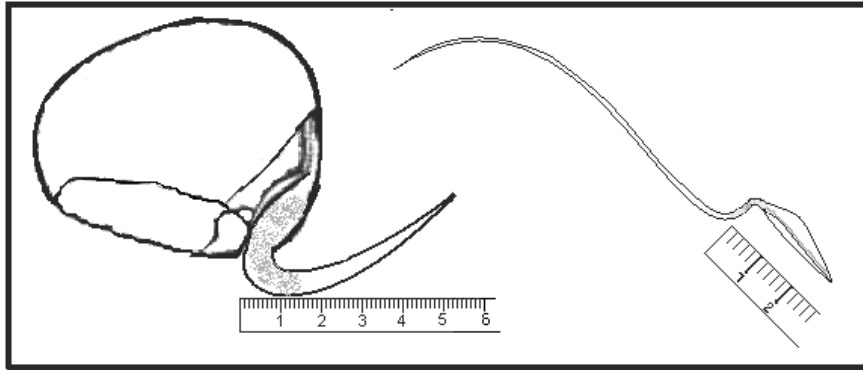
Se determinó mediante el conteo de las plántulas vivas a los ocho días después de la siembra de cada tratamiento. Se registró el número de semillas que desarrollaron con normalidad la radícula y la primera hoja cotiledonal.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de plantas vivas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de plantas totales}} * 100\%$$

- **Longitud de hojas cotiledonales y de la radícula (cm.)**

Se registró la longitud de las hojas cotiledonales y de la radícula de la semilla germinadas en laboratorio a los 6 días después de iniciado las pruebas de germinación, las mediciones de la radícula se tomaron desde la salida de la semilla hasta la punta de la misma y para la hoja cotiledónal desde el cuello de la raíz hasta la punta de la hoja.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5. Registro de la longitud de la raíz y la hoja cotiledónal.**

#### 5.2.4.2 Variables de crecimiento y desarrollo en invernadero

- **Porcentaje de emergencia**

La evaluación consistió en el registro de las plantas emergidas de cada tratamiento en invernadero, desde el quinto día después de la siembra el registro se realizó con un intervalo de tres días. La primera lectura fue realizada a los seis días y la última lectura a los 33 días después de la siembra, donde se obtuvo un valor constante de la fase de emergencia en invernadero.

Con estos datos se calculó el porcentaje de emergencia en invernadero y la dosis letal media para esta etapa lo que se muestra más detallado en la parte de resultados.

- **Supervivencia de plantas**

Para la evaluación de esta variable se tomó en cuenta la formación de los tres primeros pares de hojas verdaderas, lo cual se dio aproximadamente a los 35 días después de la siembra, para aquellos tratamientos que fueron irradiados con rayos gamma.

- **Porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra**

Se procedió a contar el número de plantas que formaron hojas verdaderas después de la siembra de cada tratamiento, según Mújica y Canahua, (1989) esto ocurre a partir de los 15 a 20 días después de la siembra, es por ello que se

tomo muy en cuenta este tiempo para constatar los efectos de la radiación en las semillas. Esta variable se uso para calcular la radiosensibilidad.

- **Altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra**

Se tomaron registros de la altura de planta de todos los tratamientos a los primeros 15 días y a la mitad del ciclo vegetativo (75 días), las mediciones se tomaron desde el cuello de la planta hasta el ápice superior de la planta, dicha magnitud se expresó en centímetros.

- **Presencia de quimeras (anormalidades en hojas, inflorescencia y frutos)**

Se contabilizó las plantas que presentaron anormalidades tanto en hojas, tallo, panoja y fruto, se entiende como anomalía a la presencia de hojas quebradas o sin la forma triangular típica de la hoja de quinua, tallos pequeños y con más de dos ramas laterales, en panojas se observó y registró el número de plantas que llegaron a formar panojas no típicas de la planta de quinua.



Figura 6. Ejemplo de quimeras, A) hojas, B) tallo y C) inflorescencias anormales

- **Porcentaje de supervivencia antes de la cosecha.**

Se contabilizó el número de plantas que llegaron a la madurez fisiológica. Por cada tratamiento.

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\text{Nro de plantas vivas}}{\text{Nro de plantas sembradas}} \times 100\%$$



### **5.2.4.3 Variables a la cosecha**

Se registró la altura de planta, longitud de raíz, peso de grano por panoja y días a la cosecha para demostrar los cambios que la radiación provocó en las plantas tratadas con rayos gamma.

- **Altura de la planta (cm.)**

Se tomaron registros de la altura de planta de todos los tratamientos después de la cosecha, las mediciones se tomaron desde el cuello de la planta hasta el ápice superior de la planta, dicha magnitud se expresó en centímetros.

- **Longitud de raíz**

Se registró la longitud de la raíz a partir del cuello de la planta hasta la última punta de la raíz en centímetros luego se obtuvo el promedio.

- **Peso de grano por panoja**

Se registró el peso en gramos de cada panoja que llegó a formar fruto de todos los tratamientos.

### **5.2.4.4 Variables fenológicas**

Se procedió al registró a partir de la fecha de siembra hasta que el 50% de las plantas vivas formaron: hojas verdaderas, ramas, panoja, floración, grano lechoso y maduro respectivamente.

- **Días a la cosecha**

Se obtuvo el número medio de días para alcanzar la madurez fisiológica de las seis variedades de quinua empezando la cosecha a partir de los 120 días después de la siembra, llegando primero a la madurez fisiológica la variedad Real blanca finalizando a los 210 días con la variedad Pasankalla.

### **5.2.4.5 Determinación de la dosis letal media (DL 50)**

Para encontrar la dosis letal media, se utilizó el porcentaje de germinación, longitud de hipocotilo en laboratorio, altura de planta a los 15 después de la siembra,

porcentaje de plantas con dos hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra, altura de planta a los 75 días después de la siembra, porcentaje de supervivencia previo a la cosecha y longitud de raíz a la cosecha, tomando en cuenta al testigo como referencia.

La sensibilidad a la radiación de las semillas se observó más en las variables de respuesta mencionadas, donde se redujo el número de plántulas vivas o su desarrollo normal a más del 50%. También en estas etapas se observó las diferencias entre tratamientos, como diversos investigadores (Gómez et al., Gonzáles et al., y Lemus et al.) observaron y además tomaron los mismos parámetros para encontrar la radiosensibilidad de diferentes especies vegetales.

### 5.2.5 Análisis estadístico de las variables de respuesta

Pr > 0.05	No presenta diferencias significativas (NS)	Se acepta la hipótesis nula (H <sub>0</sub> ).
Pr < 0.05	Presenta diferencias significativas (*)	Se acepta la hipótesis alterna (H <sub>a</sub> ).
Pr < 0.01	Presenta diferencias altamente significativas (**)	Se acepta la hipótesis alterna (H <sub>a</sub> ).

En función al modelo lineal del diseño completamente al azar con arreglo factorial (Calzada, 1980), se realizó el análisis de varianza correspondiente a las variables de estudio con un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$  ó 5%. Donde las decisiones de significancia se tomaron según la siguiente regla:

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey (5%) (Steel y Torrie, 1960). Por que Los diferentes análisis estadísticos realizados de las variables de respuesta propuestas, fueron analizados mediante el paquete estadístico S.A.S (Statistical Analysis System) versión 11.

Debido a que algunos de los datos tomados estaban fuera de la curva normal se realizó la transformación de los datos con la raíz cuadrada de X y el logaritmo natural de X.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

En base a los datos obtenidos en laboratorio e invernadero, los resultados se detallan a continuación.

### 6.1 Variables de crecimiento y desarrollo en laboratorio

#### 6.1.1 Porcentaje de germinación

Poulsen (1999); define que las plántulas que germinan son todas aquellas que presentan estructuras esenciales (raíz, brote, cotiledones). Es por ello que se realizó el seguimiento y contéo de todas aquellas semillas que llegaron a formar la primera hoja cotiledonal hasta los cinco días después de la siembra.

El porcentaje de germinación se observó a partir del primer día después de la siembra, la respuesta de la semilla fue casi inmediata con la elongación paulatina de la raíz. Durante el primer día, el 90% de todas las semillas presentaban un claro desarrollo de la raíz

**Cuadro 2. Número de semillas germinadas en laboratorio para las seis variedades de quinua durante 5 días**

Variedad	Testigo				100 Gy				200 Gy				300 Gy			
	1 dds	2 dds	3 dds	5 dds	1 dds	2 dds	3 dds	5 dds	1 dds	2 dds	3 Dds	5 dds	1 dds	2 dds	3 dds	5 dds
Real blanca	23	63	97	99	15	47	86	-	15	45	83	87	10	86	93	94
Pasankalla	12	44	95	-	13	53	90	91	13	25	63	80	2	31	86	90
Puñete blanco	14	66	96	-	12	60	81	88	13	43	83	89	12	52	73	76
Real negra	10	35	97	100	10	29	96	-	10	41	90	99	6	44	87	99
Pandela t.	17	62	93	-	12	45	93	-	9	30	90	97	10	30	62	78
Pandela p.	15	55	97	99	15	63	88	92	5	37	97	100	4	71	80	83

dds: Días después de la siembra

Gy: Grey, unidad de medida de la radiación

El cuadro 2, muestra la evolución de la germinación en laboratorio por efecto de las dosis de radiación en las variedades de quinua, donde se observa que el testigo ha llegado a su máxima germinación a los 3 días después de la siembra, así también las semillas irradiadas con rayos gamma para la dosis de 100 Gy llegaron a germinar a los 3 días pero se mantuvo en un rango de 80 a 90%.

Sin embargo la variedad Real Negra fue la única que logró germinar hasta un 96%, las variedades Pasankalla, Puñete blanco y Pandela tardía llegaron a su máxima germinación a los 3 días después de la siembra posterior a ello las semillas restantes no germinaron, los resultados fueron similares para la dosis de 200 Gy que llegó a su máxima germinación a los cinco días después de la siembra, donde la variedad Pandela precoz obtuvo un 100% de germinación.

Finalmente para la dosis de 300 Gy el rango de germinación disminuyó en un 20%, el porcentaje mas bajo fue para la variedad Puñete blanco con un 76% y el máximo valor para la variedad Real negra con un 99% de germinación.

González *et al.*, (1997); menciona al respecto que la radiación influye significativamente en los índices evaluados, los valores disminuyen con el incremento de la dosis.

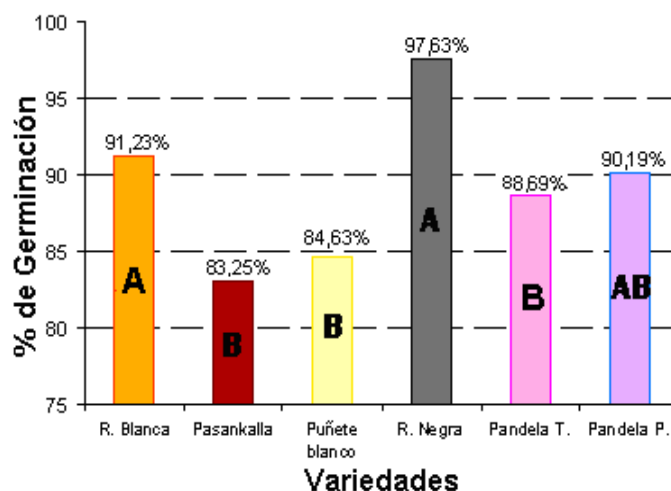
**Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación**

Fuentes de variación	S.C	C.M.	Fc.	Pr. >F.	
Variedades	2110.435	422.087	3.44	0.0078	*
Dosis	379.089	126.363	1.03	0.3850	*
V*D	2166.093	144.406	1.18	0.3107	*
Error	469.500	122.746			
Total	13125.118				
<b>C.V. = 12.41%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio  
 Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = Significativo

El análisis de varianza (cuadro 3), muestra que existen diferencias significativas entre las seis variedades de quinua por tanto se asume que el porcentaje de germinación en las repeticiones no es homogénea, así también existen diferencias significativas entre las cuatro dosis de radiación sobre el porcentaje de germinación para las variedades de quinua.

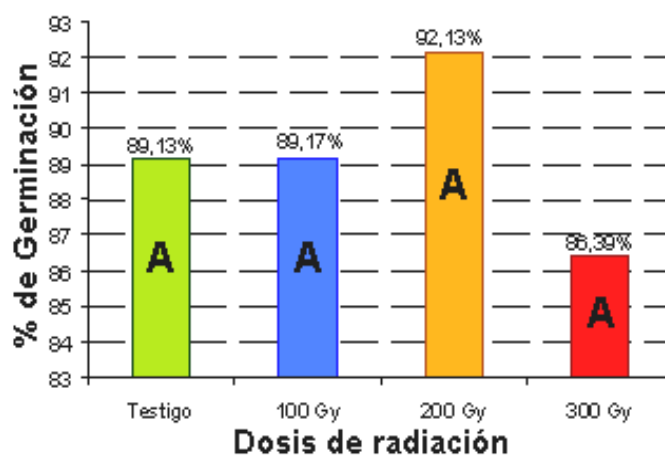
La interacción entre las variedades de quinua y las dosis de radiación presento significancia, esto significa que las dosis de radiación tuvieron un efecto heterogéneo en las variedades de quinua.



**Figura 7. Comparación de medias del porcentaje de germinación en laboratorio para las variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%)**

La figura 7, describe el porcentaje de germinación en laboratorio, donde la variedad Real negra y Real blanca estadísticamente son diferentes y superiores presentando valores por encima del 90% de germinación y con promedios inferiores o iguales a 90% las variedades Pandela precoz, Pandela tardía, Puñete blanco y Pasankalla.

La diferencia de medias radica en gran parte a las diferencias genéticas entre genotipos que esta asociada a la procedencia del material genético.



**Figura 8. Comparación de medias del porcentaje de germinación en laboratorio entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%)**

La figura 8, Describe la prueba Duncan, para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60 (Co-60) en las seis variedades de quinua, reporta que ninguna de las dosis afecto de gran manera el porcentaje de germinación, por lo tanto se asume que todas las dosis de radiación no son letales para esta variable.

Gutiérrez, *et al.*, (1999); menciona que la germinación no es una variable consistente para detectar diferencias entre dosis en cambio para la sobrevivencia se puede observar el efecto gradual y detrimental de la radiación.

Gómez *et al.*, (2008); en sus estudios en quinua encontró que la semilla irradiada con cobalto 60 desarrollaba normalmente su raíz y primeras hojas, pero a medida que la dosis incrementa el desarrollo se alarga a más de 5 cinco días.

A continuación se muestra el comportamiento de cada variedad de quinua por efecto de la radiación con cobalto 60, en las siguientes figuras:

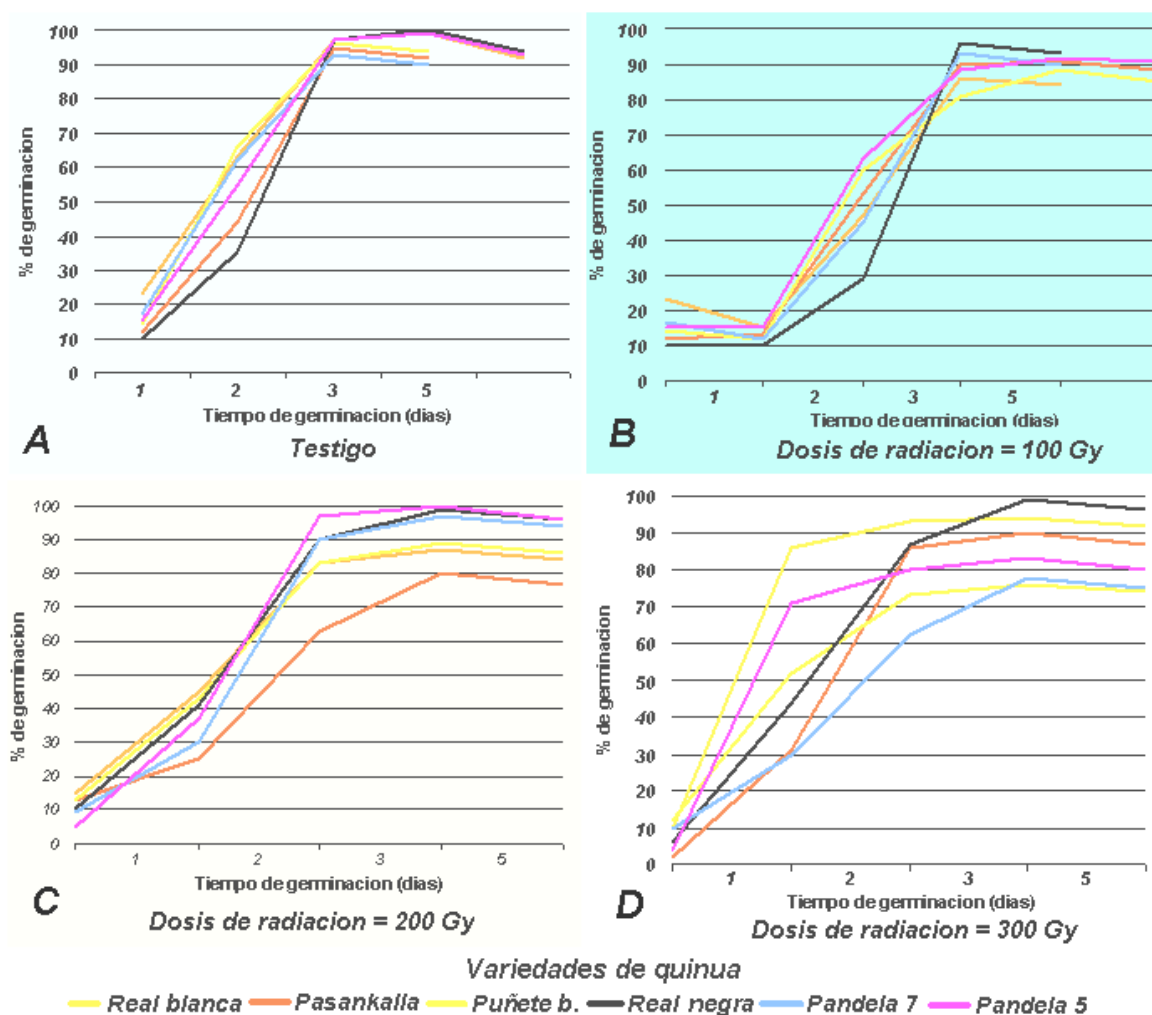


Figura 9. Evolución del porcentaje de germinación de las variedades de quinua por efecto de las dosis de radiación.

La figura 9, en el cuadro A, describe el tiempo de germinación para el testigo, el cual se inicia desde el primer día después de la siembra en las cajas petri con las variedades Real blanca y Pandela tardía con un promedio de porcentaje de germinación del 23 y 17% respectivamente; las demás variedades obtuvieron un promedio de 10 y 15% de germinación. Llegando a su máximo y constante valor a los 3 días después de la siembra.

Cuadro B; igualmente se observa la evolución del porcentaje de germinación donde las variedades Real blanca y Pandela precoz llegaron a un 15% de germinación durante el primer día en cambio la variedad Real negra es la que presenta un menor valor durante el primer día, y posterior a los 3 días los valores se mantienen constantes. También muestra que la evolución de germinación para la dosis de 100 Gy es similar a la del testigo.

Cuadro C, se observa la evolución de la germinación en laboratorio para la dosis de radiación de 200 Gy donde se observa claramente que cinco variedades tuvieron una evolución similar y llegaron a un valor constante antes de los tres días, no sucede así con la variedad Pasankalla que presenta una curva diferente la cual se hace constante a los cinco días después de la siembra llegando a su máxima germinación (80%) muy lejos de la variedad Pandela precoz que llegó a un 100%.

Finalmente en el cuadro D, se observa la evolución del porcentaje de germinación para la dosis de radiación de 300 Gy, donde se observa que todas las variedades llegaron a un porcentaje por encima del 30% a los dos días después de la siembra llegando a los cuatro días a los 99% para la variedad Real negra. Así también la figura muestra que la germinación fue muy dispareja respecto al testigo.

### **6.1.2 Porcentaje de supervivencia**

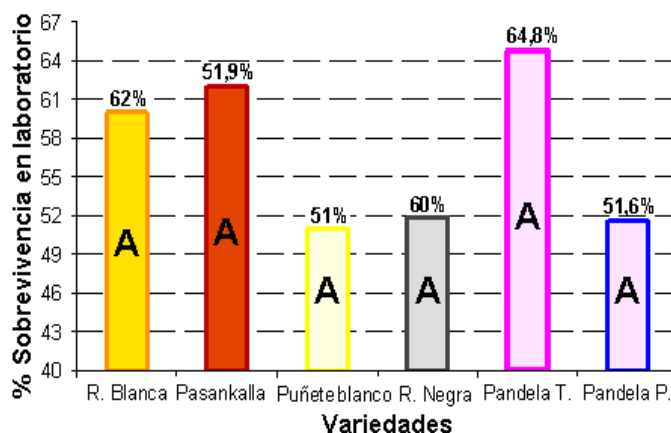
Se determinó mediante el conteo de las semillas germinadas y que desarrollaron la primera hoja cotiledonal a partir de los 6 a los 10 días después de la siembra.

**Cuadro 4. Análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia en laboratorio para seis variedades de quinua irradiadas con cobalto 60.**

Fuentes De variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	0.757	0.151	1.42	0.228	*
Dosis	0.231	0.077	0.72	0.542	*
V*D	1.478	0.098	0.92	0.544	*
Error	7.699	0.106			
Total	0.166				

C.V. = 8.18%  
 S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio  
 Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = Significativo

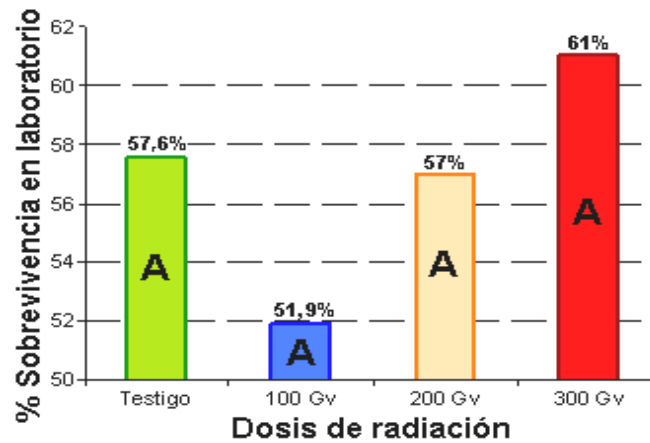
El cuadro 4, presenta el análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia en laboratorio en el mismo se observa que existen diferencias significativas para las tres fuentes de variación, con lo que se rechaza la hipótesis nula, existiendo diferencia en todos los tratamientos observados.



**Figura 10. Comparación de medias del porcentaje de supervivencia en laboratorio entre las seis variedades de quinua. Duncan (5%)**

En la figura 10, se grafico el porcentaje de supervivencia en laboratorio, donde se observa que estadísticamente todas las variedades de quinua presentan igual porcentaje de plántulas vivas, el valor más alto lo obtuvo la variedad Pandela tardía, que respecto a las demás variedades alcanzó un porcentaje medio del 64.9% de plantas vivas a los diez días esto por que las semillas tardaron en desarrollar el epicotilo y la radícula.





**Figura 11. Comparación de medias del porcentaje de supervivencia en laboratorio entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%)**

En la figura 11, se observa que no existen diferencias significativas en el número de plántulas vivas en laboratorio pero existen mínimas diferencias encontradas en cuanto a las dosis de radiación con cobalto 60, esta fue que la dosis de radiación de 300 Gy presentó mayor porcentaje de supervivencia (61%), el Testigo y la dosis de 200 Gy (57.6 y 57%) y finalmente el tercero (51.9%) para la dosis de 100Gy.

Las diferencias entre el testigo y la dosis de 300 Gy encontradas; puede ser debido a que el testigo llegó a su máximo desarrollo a los cinco días luego empezó a presentar pudrición de las semillas, el tratamiento de 300 Gy por su desarrollo lento llegó a su máxima emergencia al quinto día a partir de este día empezó la pudrición de la semilla.

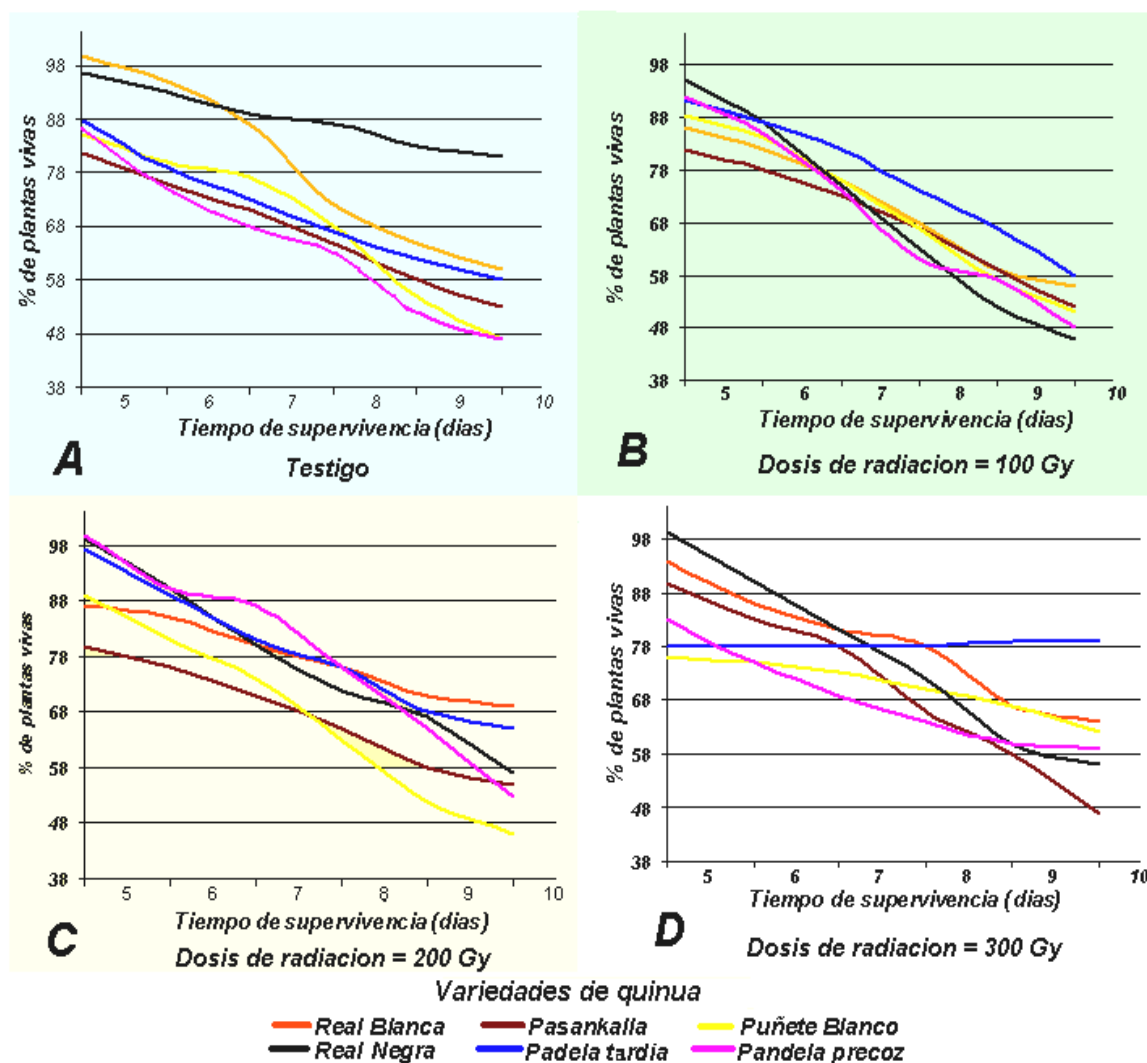


Figura 12. Evolución del porcentaje de supervivencia en laboratorio para el testigo y las tres dosis de radiación con rayos gamma.

En la figura 12 en el cuadro A, se muestra el porcentaje de supervivencia del testigo para las seis variedades de quinua, donde la variedad Real negra presentó un 81% de plantas vivas a los diez días después de la siembra, las variedades Puñete blanco y Pandela precoz son las que presentaron un 47% de supervivencia.

En el cuadró B, se observa el porcentaje de plantas vivas a los diez días después de la siembra en cajas petri. Donde la mayor parte de las variedades presentaron valores inferiores al 60% de plantas vivas, esto por que al principio presentaron un rápido desarrollo de la raíz y el hipocotilo y luego disminuyeron su desarrollo.

En el cuadro C, se presenta el porcentaje de supervivencia para la dosis de radiación de 200 Gy para las seis variedades de quinua, al igual que para la dosis de 100 Gy los porcentajes se mantuvieron entre un 45 y 70% de plantas vivas a los diez días.

Finalmente en el cuadro D, se observa el porcentaje de supervivencia para la dosis de radiación de 300Gy. donde la variedad Pandela tardía presentó un desarrollo lento hasta los diez días, por el desarrollo diferente del su hipócotilo. Así también se observa que la variedad Pasankalla presentó el valor más bajo igual a 47%.

Al respecto Azcon-Bieto (1993) citado por Palma (2007); menciona que los factores que afectan a la germinación son internos o propios de la semilla y externos o dependientes del medio ambiente como la temperatura, humedad y disponibilidad de oxígeno.

### 6.1.3 Longitud de hojas cotiledonales y la raíz (cm.)

A continuación se presenta el análisis de varianza de los resultados para la longitud de hojas cotiledonales y raíz, registradas a los cinco días después de la siembra.

**Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable longitud de hoja cotiledónal y raíz (cm.) a los seis días después de la siembra.**

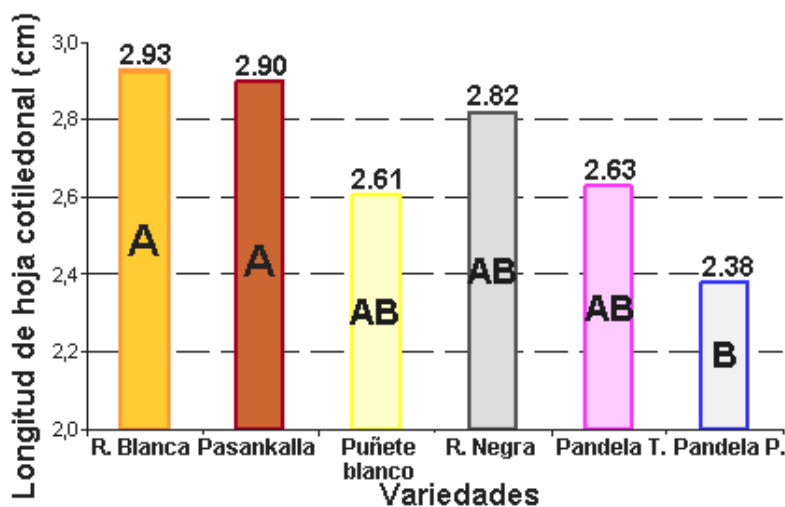
FUENTES DE VARIACION	Hoja cotiledónal				Raíz			
	CM	Fc	Pr. >F		CM	Fc	Pr. >F	
Variedades	0.06695	1.85	0.1131	*	5.0264	5.76	0.0002	*
Dosis	0.10939	3.03	0.0348	*	12.4121	14.22	0.0001	*
V*D	0.03991	1.11	0.3673	*	2.2564	2.58	0.0038	*
Error	0.03610				0.8730			
TOTAL	0.06695				5.0264			
	C.V = 11.63%				C.V. = 18.804%			

C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%)

\* = significativo; ns = No significativo

En el cuadro 5, se observa las diferencias significativas que existen entre variedades y dosis de radiación para la longitud de hoja; así también existen diferencias significativas para la longitud de raíz entre variedades y dosis de radiación esto indica que la variación se debe a las dosis de radiación.

En cuanto a la interacción variedad x dosis existe diferencias significativas para la variable longitud de hoja cotiledonal, lo cual también indica que este factor es dependiente. La interacción entre variedad x dosis para la longitud de raíz resultó significativo por lo cual también se deduce que la mayor variación se debe a la radiación. A continuación se presenta la comparación de medias para cada factor de estudio.



**Figura 13. Comparación de medias para la longitud de hoja cotiledonal de las variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).**

En la figura 13, se observa que para el promedio de longitud (cm.) de la hoja cotiledónal a los seis días después de la siembra no existen estadísticamente diferencias, en conclusión todas las variedades de quinua son estadísticamente iguales.

La variedad Real blanca obtuvo 2.93 cm. respecto a la variedad Pandela precoz que fue la que menor altura obtuvo 2.38 cm. Los promedios obtenidos entre variedades fueron similares, esto por las condiciones de laboratorio (temperatura, humedad y luz controlada) a las que se sometieron las semillas.

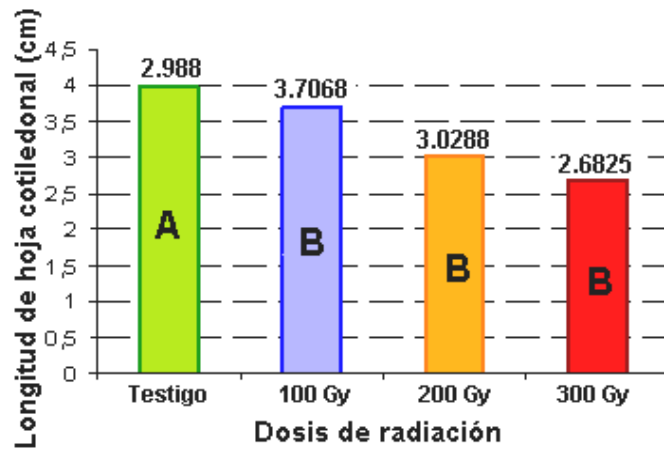


Figura 14. Comparación de medias de la longitud de la hoja cotiledonal para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60, en condiciones de laboratorio.

En cuanto a la prueba de medias para las dosis, se observa dos grupos distintos para la longitud de la hoja cotiledónal, un grupo compuesto por el testigo (3.98cm) estadísticamente superior al segundo grupo compuesto por la dosis de 100 Gy, 200 Gy y 300 Gy (3.70, 3.02cm y 2.68cm), estadísticamente diferentes a el primer tratamiento.

Gómez (1998); obtuvo similares resultados en semillas de quinua de la variedad Pasankalla los resultados obtenidos fueron los siguientes; T<sub>0</sub> (3.8cm) T<sub>150</sub> (3.35cm) T<sub>250</sub> (3.1 cm.) T<sub>350</sub> (2.8 cm.), las diferencias encontradas entre tratamientos estadísticamente no fueron significativas.

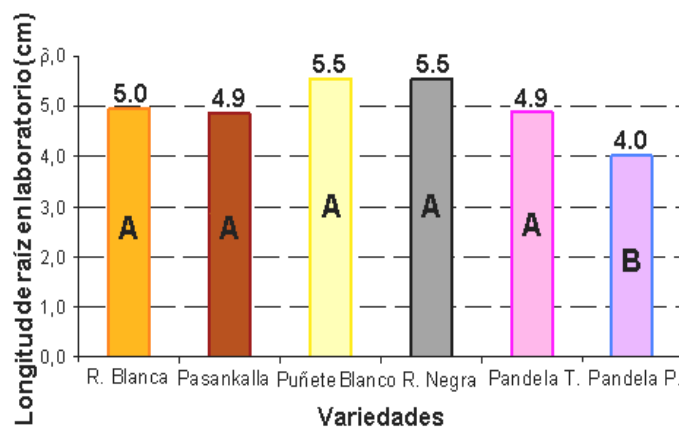


Figura 15. Comparación de medias para la longitud de raíz para las seis variedades de quinua en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).

En la figura 15, se observa que la longitud de raíz para la variedad Puñete blanco y Real negra son superiores y estadísticamente diferentes a las variedades Real blanca, Pasankalla, Pandela precoz y Pandela tardía.

Las diferencias encontradas entre variedades para la longitud de raíz en laboratorio muestran que la variedad Puñete blanco y Real negra obtuvieron mejores promedios 5.5 cm. y el promedio inferior la variedad Pandela precoz con 4 cm. estas diferencias encontradas entre variedades se puede atribuir a la variabilidad genética de las variedades en estudio como ser la capacidad de división y regeneración celular; (López, 2001).

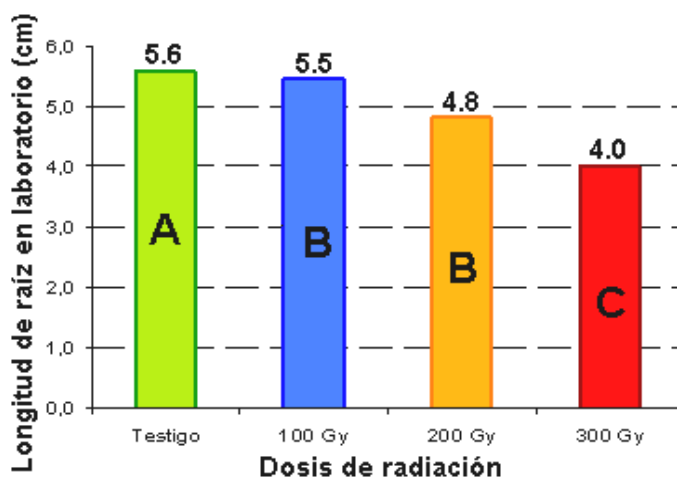


Figura 16. Comparación de medias de la longitud de la raíz para las cuatro dosis de radiación, en condiciones de laboratorio. Duncan (5%).

Respecto a las dosis de radiación la prueba de Duncan de la figura 16, muestra que el promedio de longitud de raíz para el testigo estadísticamente es diferente a los promedios de las otros tratamientos, presenta un valor de 5.6 cm. la dosis de 300 Gy es diferente e inferior con respecto al testigo con 4 cm. Se observa claramente que esto fue debido a la radiación con cobalto 60.

## 6.2 Variables de crecimiento y desarrollo en invernadero

### 6.2.1 Porcentaje de emergencia

A continuación se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de emergencia en invernadero que se evaluó a partir de los 5 y 6 días después de la siembra.

**Cuadro 6. Análisis de varianza para la variable porcentaje de emergencia**

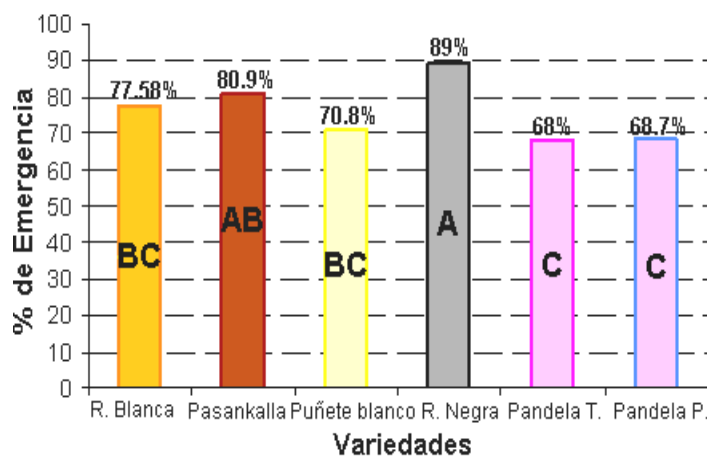
Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	5594.385	1118.877	5.86	0.0001	*
Dosis	506.4704	168.823	0.88	0.4535	*
V*D	1314.020	87.601	0.46	0.9533	NS
Error	13747.78	190.941			
Total	21162.656				
<b>C.V 18.21%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%)  
 \* = Significativo; ns = No significativo

En el cuadro 6, se observa el porcentaje de emergencia; donde entre las variedades existen diferencias significativas, esto debido a la fisiología de las diferentes variedades utilizadas (Durand, 1999)

Respecto a las dosis de radiación, existen diferencias significativas, esto significa que el porcentaje de emergencia entre dosis es heterogénea.

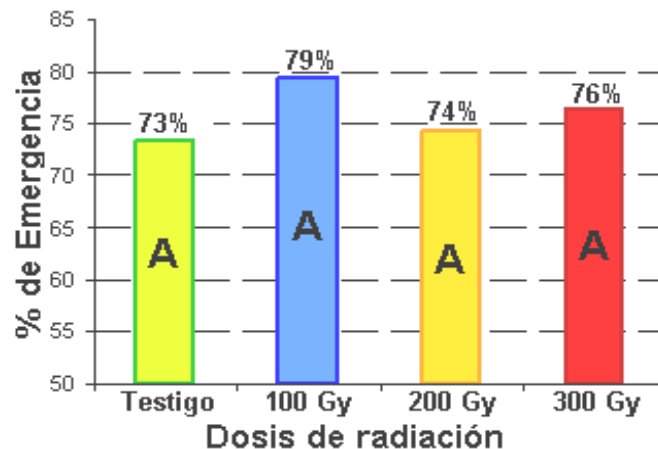
Así también se observa diferencias no significativas para la interacción variedad x dosis, las variedades de quinua y las dosis de radiación son dependientes el uno del otro.



**Figura 17. Comparación de medias del porcentaje de emergencia para las variedades de quinua Duncan (5%).**

La prueba de medias para el porcentaje de emergencia para las seis variedades de quinua, forma cuatro grupos de los cuales los dos primeros son estadísticamente similares con un promedio entre 89 y 80.9 % de emergencia para las variedades Pasankalla y Real negra respectivamente, en el extremo se encuentran las variedades Pandela tardía y precoz con un valor igual al 68.% de emergencia resultando los valores diferentes del promedio de la variedad Real negra.

Peske (2004); señala que los resultados de la prueba de germinación frecuentemente no se reproducen a nivel de campo, ya que las condiciones raramente son óptimas para la germinación de las semillas. Para que ello sea posible tiene que haber cuatro condiciones fundamentales; semilla sana (no tratada con ninguna sustancia), oxígeno, agua y temperatura adecuada para que se rompa la dormancia.



**Figura 18. Comparación de medias del porcentaje de emergencia por efecto de las cuatro dosis de radiación. Duncan (5%).**

La figura 18, muestra la comparación de medias para las cuatro dosis de irradiación con cobalto 60, donde se observa que todas las dosis de radiación son estadísticamente iguales, primero se encuentra la dosis 100 Gy (79%) con un promedio estadísticamente superior de emergencia, en segundo lugar se encuentra la dosis de 300 Gy con un 76.44% de emergencia el testigo y la dosis de 200 Gy presentaron valores similares comprendidos entre 73.3 y 74.6% respectivamente.

La dosis de 100 Gy respecto a las otras dosis resultó con un mejor promedio, esta diferencia pequeña se debe a que esta dosis se encuentra entre una de las adecuadas según estudios realizados (González *et al.*, 1997).



## 6.2.2 Supervivencia de plantas a los 35 días después de la siembra

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable supervivencia de plantas a los 35 días después de la siembra

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	0.9195	0.1839	1.07	0.3828	*
Dosis	84.455	28.151	164.20	0.0001	*
V*D	5.2586	0.3505	2.04	0.0232	*
Error	12.344	0.1714			
Total	102.977				

C.V 12.07%

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

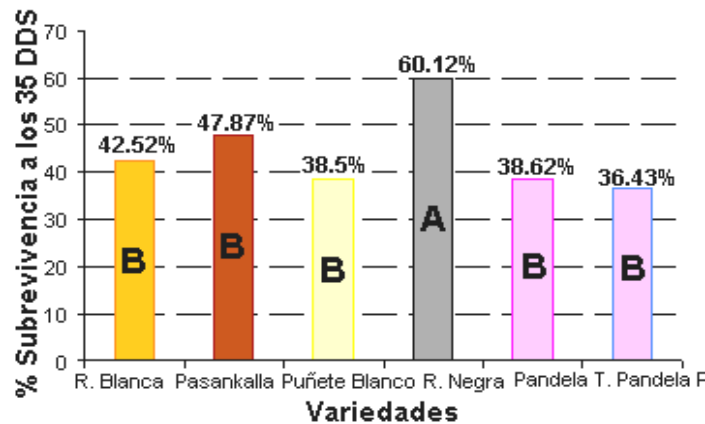
El número de plantas vivas con dos hojas verdaderas registradas durante los primeros 30 días presento los siguientes resultados.

En el cuadro 7, se observa que el porcentaje de supervivencia entre variedades existen diferencias significativas, debido a la fisiología de las diferentes variedades utilizadas.

Respecto a las dosis de radiación, existen diferencias significativas, esto debido a las dosis de radiación. Al respecto Gómez *et al.*, (2010) menciona que las plantas del tratamiento con dosis elevadas por encima a los 350 Gy no sobreviven.

Así también se observa diferencias significativas para la interacción variedad x dosis, esto por lo mismo anteriormente citado resultando ser dependientes.

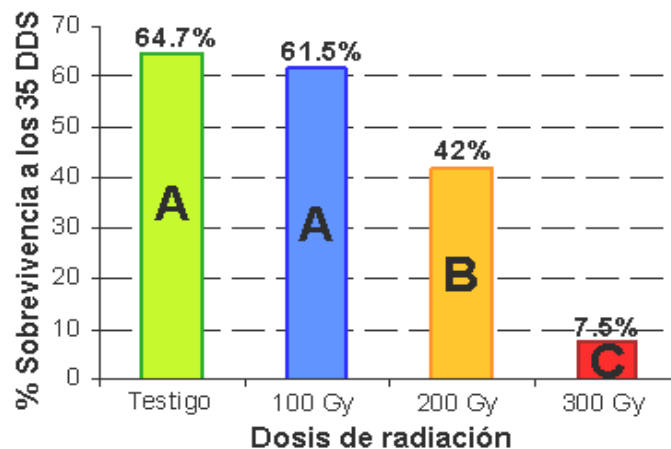
Zambrana (1999); al respecto menciona que las células afectadas por la radiación pueden provocar desarrollo anormal del individuo o la muerte temprana del individuo.



**Figura 19. Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia a los 35 días después de la siembra de las variedades de quinua. Duncan (5%).**

La comparación de medias para el porcentaje de supervivencia a los 35 días después de la siembra (figura19), reporta que la variedad Real negra estadísticamente presento valores mas representativos frente a las otras variedades con un 60.1% de supervivencia a los 35 días después de la siembra, en cambio las otras variedades presentaron valores comprendidos entre un 36.4 y 47%.

Estos valores reportados entre variedades se deben a la rusticidad de las variedades sobre todo a la variedad Real negra que por su color y tamaño de semilla puede sobrevivir muy bien a diferentes factores (Durand, 1999)



**Figura 20. Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia a los 35 DDS por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%).**

De acuerdo a la clasificación de la figura 20, reporta que el testigo es estadísticamente diferente (64.7%) frente a las demás dosis en estudio para la variable supervivencia de plántulas a los 35 días después de la siembra, así también

con un valor similar (61.5%) presentó diferencias significativas en plantas que formaron dos hojas verdaderas en la dosis de 100 Gy, en cambio las dosis de 300 y 200Gy presentaron valores del 7.5 y 42% estos valores se obtuvieron debido a la radiación, la semillas que fueron tratadas con dosis mayores a 200Gy no llegaron a formar dos hojas verdaderas

Según Gonzáles *et al.*, 1997 en los estudios realizados en arroz describió que a dosis altas de radiación, las semillas solo emiten el coleoptilo y la raíz, el crecimiento se detiene y empiezan a secarse y a pasados los quince días están muertas. Es lo mismo que llegó a pasar con las semillas evaluadas, la diferencia fue que las plantas sobrevivieron mas allá de los treinta días después de la siembra.

### 6.2.3 Porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 después de la siembra

Se evaluó el número de plantas que formaron normalmente hojas verdaderas, las cuales debieron normalmente desarrollarse a partir de los 15 días después de la siembra.

**Cuadro 8. Análisis de varianza para el porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 después de la siembra**

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	6898.160	1379.63	53.83	0.0001	*
Dosis	69846.02	23282.00	908.4	0.0001	*
V*D	10928.17	728.54	28.43	0.0001	*
Error	1845.20	25.627			
Total	89517.55				
<b>C.V 18.21%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P. = Probabilidad (Ft 5%), \* = Significativo.

El análisis de varianza (cuadro 8) muestra una diferencia significativa entre variedades, por tanto se asume que el porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra es heterogéneo, mientras que para las dosis de radiación existen diferencias significativas para el porcentaje de hojas verdaderas.

Para la interacción entre las variedades y dosis de radiación existe diferencias significativas lo que indica que hay un efecto heterogéneo en el porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra.

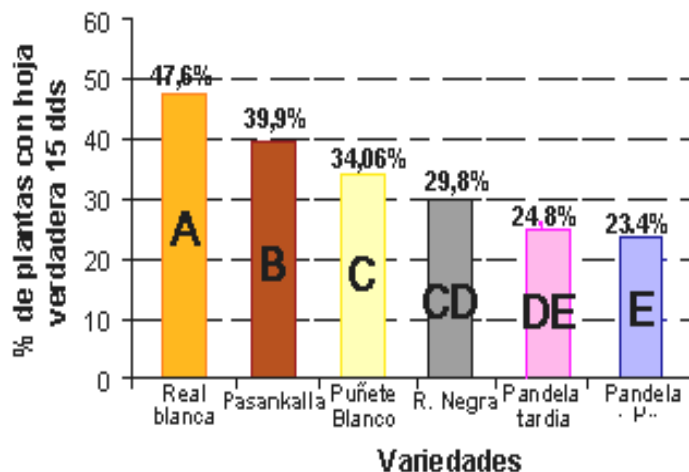


Figura 21. Comparación de medias para el porcentaje de plantas con hoja verdadera a los 15 después de la siembra entre las seis variedades de quinua. Duncan (5%)

La comparación de medias para el porcentaje de de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra (figura 21), reporta que la variedad Real blanca estadísticamente presento valores mas representativos frente a las otras variedades con un 47.6 % de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra, en cambio las otras variedades presentaron valores comprendidos entre un 39.9 y 23.4%.

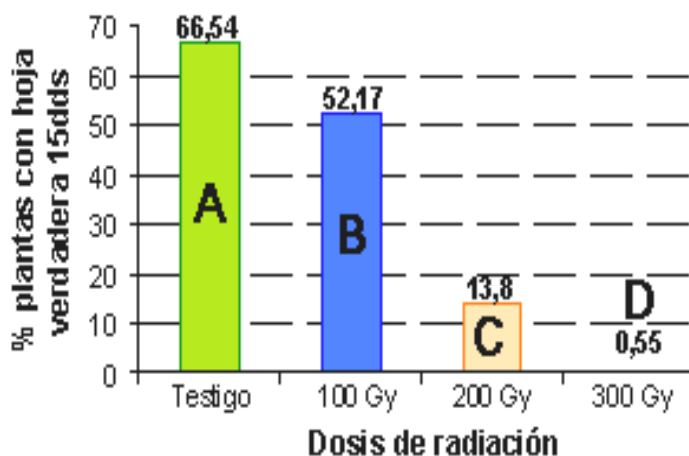


Figura 22. Comparación de medias para el porcentaje de planta con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra entre el testigo y las tres dosis de radiación. Duncan (5%)

De acuerdo a la clasificación de la figura 22, reporta que el testigo es estadísticamente diferente (66.54%) frente a las demás dosis en estudio para la variable porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra, así también con un valor (52.17%) presentó diferencias significativas en plantas a los 15 días en la dosis de 100 Gy, en cambio las dosis de 200 y 300 Gy presentaron valores del 13.8 y 0.55% estos valores se observan debido a la radiación, la semillas que fueron tratadas con dosis mayores a 200Gy no llegaron a formar dos hojas verdaderas antes de los 15 días.

Gómez et al. (2008), menciona que el tiempo del desarrollo de las hojas cotiledonales y las hojas verdaderas de quinua comprendidos entre la germinación y el desarrollo de las hojas verdaderas se alargan en un promedio de 2 a 3 días más que el testigo.

#### 6.2.4 Altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra.

**Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra para seis variedades de quinua irradiadas con cobalto-60.**

Fuentes de variación		SC	CM	Fc.	Pr. >F	
15dds	Variedades	2.064	0.412	3.29	0.0099	*
	Dosis	1.273	0.424	3.38	0.0227	*
	V*D	8.846	0.589	4.70	0.0001	*
C.V. = 16.83%						
75dds	Variedades	2.223	0.444	0.71	0.6215	*
	Dosis	263.47	87.82	139.2	0.0001	*
	V*D	11.955	0.797	1.26	0.2477	*
C.V.= 17.74%						

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%), \* = significativo (P<0.01)

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 9, se pueden observar que existen diferencias significativas entre variedades a los 15 y 75 días después de la siembra; entre dosis la comparación para las dos fechas igualmente existen también diferencias significativas, finalmente para la interacción variedad\*dosis, existen diferencias significativas.

**Cuadro 10. Comparación de medias para la altura de plantas a los 15 y 75 dds para las seis variedades de quinua**

15 Días después de la siembra 2 hojas verdaderas			75 Días después de la siembra floración		
Variedad	altura	Duncan (5%)	Variedad	altura	Duncan (5%)
V1.Real blanca	6.4	A	V6.Pandela P.	23	A
V6.Pandela P.	3.7	B	V1.Real blanca	25.4	A
V2.Pasankalla	4.1	AB	V2.Pasankalla	22	A
V5.Pandela T.	4.5	B	V5.Pandela T.	22.8	A
V3.Puñete B.	4.6	AB	V3.Puñete B.	23.1	A
V4.R. Negra	4.5	AB	V4. R. Negra	23.4	A

La altura de planta se presenta en el cuadro 10, expresa que a los 15 días después de la siembra (2 hojas verdaderas), la variedad Real blanca (V1) presentó mayor altura en la mayoría de las plantas evaluadas con un promedio del 6.4cm, la variedad Real negra (V4) obtuvo la menor altura de plantas con 4.5cm, las demás variedades tuvieron un promedio entre 4.6 y 3.7cm.

A los 75 días después de la siembra (floración), las variedades con mayor altura de plantas fueron Real blanca (V1) y Real negra (V4) con 25.4 y 23.4 cm. respectivamente; con menor altura de plantas fue la variedad Pasankalla (V2) con un promedio de 22cm, las demás variedades presentaron valores entre 23 a 22 cm. en promedio de la altura de plantas.

**Cuadro 11. Comparación de medias para la altura de planta a los 15 y 75 días después de la siembra para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60**

50 Días después de la siembra Ramificación			75 Días después de la siembra floración		
Dosis	% de hojas	Duncan (5%)	Dosis	% de hojas	Duncan (5%)
Testigo	4.9	AB	Testigo	42.8	A
200Gy	4.1	AB	200Gy	29.4	B
100Gy	3.9	B	100Gy	16.3	C
300Gy	5.5	A	300Gy	4.7	D

La altura de planta entre dosis de irradiación se observa en el cuadro 11, donde se observa que a los 15 días después de la siembra (2 hojas verdaderas) la dosis de 300 Gy presentó 5.5 cm de altura promedio y la dosis con un porcentaje menor fue la de 100 Gy con 3.9 cm.

A los 75 días después de la siembra (floración) los promedios se elevaron y mantuvieron en algunos casos, la dosis con mayor promedio de altura de plantas fue la para el testigo con 42.8 cm, la dosis de 200 Gy con 29.4 cm, la dosis con el valor inferior fue 300 Gy con 4.7cm.

Montoya (2007), expresa que los caracteres modificados mediante la inducción de mutaciones en las plantas generalmente son morfológicos, que incluye una reducción de altura.

### 6.2.5 Inducción de quimeras (anormalidades en hojas, inflorescencia y frutos).

Uno de los primeros investigadores en el área de mejoramiento por radiación Stadler (1930), encontró que cerca del 90% de las mutaciones inducidas por radiación, podía reconocerse en el estado de plántula, pasadas las dos semanas de edad.

#### 6.2.5.1 Porcentaje de plantas con presencia de hojas anormales en el tallo principal.

Durante el ciclo del cultivo, se presentó hojas quebradas y de diferentes formas (forma de cuchara, paleta etc.), no con la forma común de la hoja de quinua, esto se registró en tres etapas a los 50, 75 y 90 días después de la siembra.

**Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con hojas anormales en el tallo principal**

Fuentes de variación		SC	CM	Fc.	Pr. >F	
50dds	Variedades	10954.55	2190.91	6.88	0.0001	*
	Dosis	5702.23	2851.11	8.96	0.0004	*
	V*D	14490.62	1449.06	4.55	0.0001	*
C.V = 28.30%						
75dds	Variedades	9264.17	1852.83	6.72	0.0001	*
	Dosis	3243.21	1621.60	5.88	0.0049	*
	V*D	16889.22	1688.92	6.12	0.0001	*
C.V. = 24.82%						
90dds	Variedades	12486.83	2497.36	16.75	0.0001	*
	Dosis	2791.55	1395.77	9.36	0.0003	*
	V*D	18382.61	1838.26	12.33	0.0001	*
C.V. = 16.23%						

C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = Significativo

De acuerdo al análisis de varianza del cuadro 12, se pueden observar que existen diferencias significativas entre variedades a los 50, 75 y 90 días después de la siembra; entre dosis la comparación para las tres fechas igualmente existen también diferencias significativas, finalmente para la interacción variedad\*dosis, existen diferencias significativas.

Zambrana (1999), menciona que si la radiación no causa la muerte inmediata de gran número de células posee efectos tardíos que son mecanismos modificadores que originan procesos degenerativos y neoplásicos.

**Cuadro 13. Comparación de medias para el porcentaje de plantas con hojas anormales, de las seis variedades de quinua**

50 Días después de la siembra Ramificación			75 Días después de la siembra floración			90 Días después de la siembra llenado de grano		
Variedad	% de hojas	Duncan (5%)	Variedad	% de hojas	Duncan (5%)	Variedad	% de hojas	Duncan (5%)
V1.Real blanca	78	A	V6.Pandela P.	80	A	V3.Puñete B.	83	A
V6.Pandela P.	71	A	V1.Real blanca	73	A	V6.Pandela P.	83	A
V2.Pasankalla	70	A	V2.Pasankalla	69	A	V2.Pasankalla	81	A
V5.Pandela T.	64	AB	V5.Pandela T.	69	A	V5.Pandela T.	81	A
V3.Puñete B.	51	BC	V3.Puñete B.	66	A	V1.Real blanca	78	A
V4.R. Negra	43	C	V4. R. Negra	43	B	V4. R. Negra	46	B

\* Letras iguales son similares estadísticamente.

El porcentaje de plantas con hojas quebradas o forma de cuchara se presenta en el cuadro 13, expresa que a los 50 días después de la siembra (ramificación), la variedad Real blanca (V1) presentó mayor presencia de hojas deformes en las mayoría de las plantas evaluadas con un 78%, la variedad Real negra (V4) obtuvo el menor porcentaje de plantas con hojas anormales con un 43%, las demás variedades tuvieron un promedio entre 71 y 51%.

A los 75 días después de la siembra (floración), las variedades con mayor porcentaje de plantas con hojas anormales fueron Pandela precoz (V6) y Real blanca (V1) con 80 y 73% respectivamente; la variedad con menor porcentaje de plantas con hojas deformes fue la variedad Real negra (V4) con un 43%, las demás variedades tuvieron un 69% en promedio de plantas con hojas deformes.



Pasado los 90 días después de la siembra (llenado de grano) hubo cambios en el porcentaje de plantas con hojas anormales, donde las variedades Puñete blanco (V3) y Pandela precoz (V5) presentaron mayor cantidad de hojas anormales con 83% de todas las plantas, le siguieron las variedades Pasankalla (V2) y Pandela tardía (V6) ambas con 81% y finalmente las variedades Real blanca (V1) y Real negra (V4) con 78 y 46 % de plantas con hojas anormales.

**Cuadro 14. Comparación de medias del porcentaje de plantas con hojas anormales para las cuatro dosis de radiación con cobalto 60**

50 Días después de la siembra Ramificación			75 Días después de la siembra floración			90 Días después de la siembra Llenado de grano		
Dosis	% de hojas	Duncan (5%)	Dosis	% de hojas	Duncan (5%)	Dosis	% de hojas	Duncan (5%)
200Gy	74.70	A	200Gy	73.64	A	200Gy	83.64	A
100Gy	61.24	B	100Gy	69.34	A	100Gy	73.21	B
300Gy	53.12	B	300Gy	57.75	B	300Gy	68.78	B

\* Letras iguales son similares estadísticamente.

El porcentaje de plantas con hojas anormales entre dosis de irradiación se observa en el cuadro 14, donde se observa que a los 50 días después de la siembra (ramificación) la dosis de 200 Gy presentó mayor porcentaje del 74,7% de plantas con hojas anormales y la dosis con un porcentaje menor fue la de 300 Gy con 53.12%.

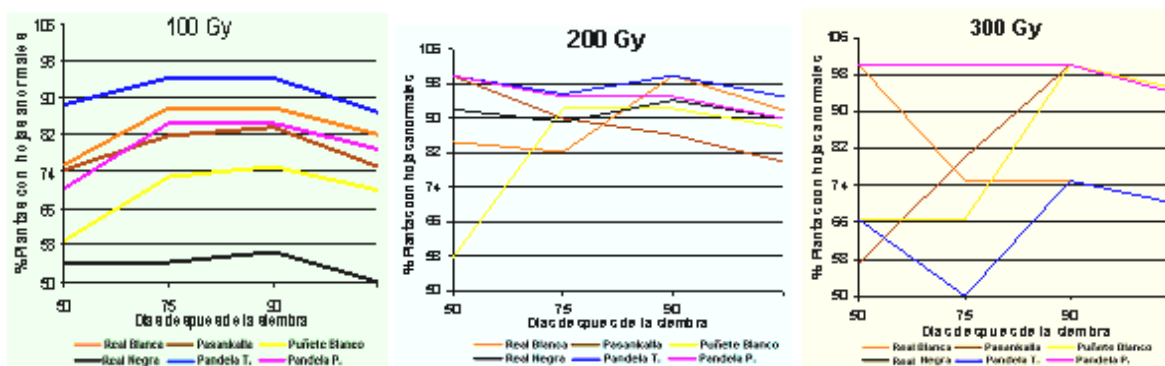
A los 75 días después de la siembra (floración) los porcentaje se elevaron y mantuvieron en algunos casos, la dosis con mayor presencia de plantas con hojas anormales fue la dosis de 200 Gy con 73.64%, la dosis con el valor inferior fue 300 Gy con 57.7%.

Finalmente a partir de los 90 días después de la siembra (llenado de grano) los otros promedios se elevaron, las plantas irradiadas con la dosis de 200 Gy presentaron nuevamente el porcentaje más alto (83.6%) de plantas con hojas anormales, el valor más bajo fue también nuevamente para las dosis de 300 Gy con el 68.7% de plantas con hojas anormales.

Gómez, et al., (2008), observo una deficiencia en la formación de hojas a medida que se incrementa la dosis, produciéndose la muerte de las plantas

con hojas cotiledonales aproximadamente a los 30 días de emergido el material.

Gutiérrez, et al. (1999) encontró que a dosis altas de radiación en variedades de Dahlia las hojas se deforman y a dosis leves existe un cambio en la disposición de las hojas (de opuestas a alternas).



**Figura 23. Evolución del porcentaje de plantas que formaron hojas deformes por efecto de las dosis de radiación (100, 200 y 300Gy), durante los 50, 75 y 90 días después de la siembra.**

La figura 23, ilustra el comportamiento de la formación de hojas para cada variedad en las tres dosis de irradiación durante las etapas en las cuales existió mayor formación de hojas, se observa que para la dosis de 100Gy la presencia de plantas con hojas anormales fue distribuida uniformemente para todas las variedades; Para la dosis de 200 Gy fue diferente a los 50 días después de la siembra donde existían gran porcentaje de plantas con hojas deformes, manteniendo estos valores hasta llegar a la etapa de formación de granos; para la dosis de 300 Gy igualmente presentó desde un inicio un alto porcentaje de plantas con hojas deformes manteniendo estos valores constantes hasta el inicio de la formación de grano.

Según Pompeau (1963); mencionado por Delgado (1970), las radiaciones causan deformación en las hojas y las dosis muy elevadas de radiación provocan esterilidad, enanismo y muerte de las plántulas.

#### 6.2.5.2 Porcentaje de plantas que no formaron fruto.

El análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de plantas que no formaron una panoja normal y por lo tanto no formaron frutos para los tratamientos se muestra en el siguiente cuadro.

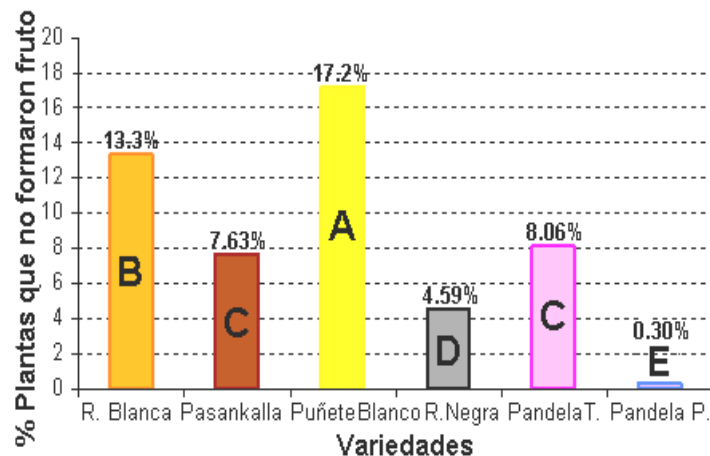
**Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas que no formaron frutos**

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	107.516	21.503	58.71	0.0001	*
Dosis	262.586	87.528	239.00	0.0001	*
V*D	105.963	7.0642	19.29	0.0001	*
Error	26.368	0.3662			
Total	502.435				
<b>C.V. = 21.36</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

El análisis de varianza (cuadro 15), muestra una diferencia significativa entre variedades por consiguiente se puede plantear que el porcentaje de plantas sin fruto se debe al efecto de la irradiación, así también existe diferencias significativas entre dosis.

Para la interacción entre variedades de quinua y dosis de irradiación, se obtuvo alta significancia presentando así un efecto heterogéneo en el porcentaje de plantas que no formaron frutos, por lo tanto estas diferencias encontradas pueden ser producidas por las dosis de radiación con cobalto-60.



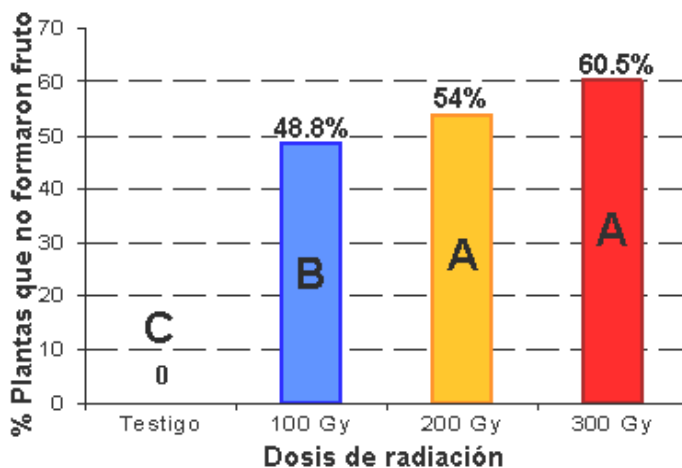
**Figura 24. Comparación de medias para el porcentaje de plantas que no formaron fruto de las variedades de quinua. Duncan (5%)**

Según la figura 24, se distinguen seis grupos estadísticamente diferentes de los cuales la variedad Puñete blanco presentó por efecto de la radiación mayor porcentaje de plantas que no formaron panojas normales por lo tanto no llegaron a formar frutos con un 17.2% la variedad que le sigue es la Real blanca con 13.3% de plantas sin fruto, las variedades Pasankalla y Pandela tardía presentaron valores estadísticamente iguales con 7.63 y 8.06% respectivamente.

Las variedades Real negra y Pandela precoz con valores de 4.59 y 0% no presentaron gran cantidad de plantas sin fruto, esto valores son debido a la rusticidad de la semilla y su precocidad.

Según Gómez *et al.*, (2010) en sus trabajos sobre irradiación en quinua menciona que existe una severa detención o inhibición del crecimiento que excluye la floración por lo tanto no existe formación de frutos.

Así también Gonzáles *et al.*, (1997) añade que la radiación influye en la disminución de la producción de granos por panoja y el aumento de los daños fisiológicos



**Figura 25. Comparación de medias del porcentaje de plantas que no formaron fruto, por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%)**

De acuerdo a la comparación de medias (figura 25) se distinguen tres grupos estadísticamente diferentes, de los cuales las dosis de 300 y 200 Gy (54, 60.5%) resultaron superiores con respecto a las demás dosis donde se presentó la presencia de plantas que no llegaron a formar panojas y por lo tanto tampoco frutos, y con un valor estadístico inferior se encuentra la dosis de 100 Gy con 5.3% de planta sin fruto.

Se puede ver claramente como la dosis de radiación influye en la estructura reproductiva de las plantas tratadas con cobalto 60. Así también en la figura se muestra el porcentaje de plantas sin fruto en el testigo el cual presentó 0%.

### 6.2.5.3 Porcentaje de plantas con panoja anormal.

Según GTZ; IICA; INIAP; ERPE, (2001) la quinua presenta un inflorescencia denominada panoja, constituida por un eje central, ejes secundarios y terciarios formando un rombo en la mayoría de los casos. Pero cuando la semilla ha sido sometida con rayos gamma los resultados son distintos, se observo y contabilizo las plantas que no presentaban ejes centrales y además no presentaban forma romboidal, esto se analizó y se muestra a continuación en el análisis de varianza.

**Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con panoja anormal.**

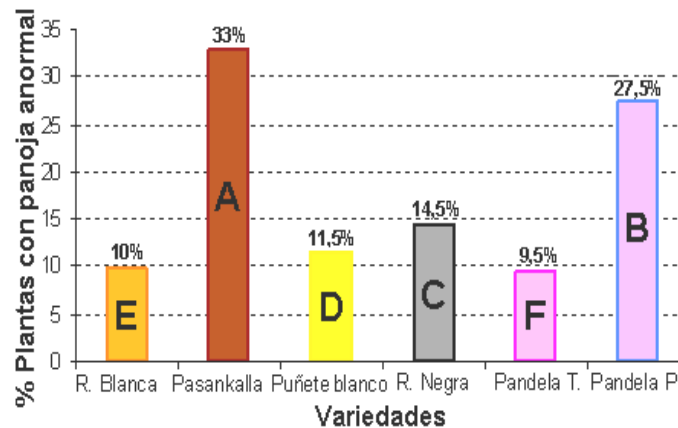
Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	8132.754	1626.550	9133.52	0.0001	*
Dosis	36883.274	12294.424	69036.4	0.0001	*
V*D	20365.090	1357.672	7623.70	0.0001	*
Error	12.822	0.1780			
Total	65393.941				
<b>C.V. = 2.38%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

En el cuadro 16, se observa que existen diferencias significativas entre las seis variedades de quinua por tanto se asume que el porcentaje de plantas con panoja anormal en las repeticiones no es heterogénea, así también existen diferencias significativas entre las cuatro dosis de irradiación sobre las seis variedades de quinua.

La interacción variedades de quinua y dosis de irradiación presenta significancia, donde el mayor efecto es debido a la dosis de irradiación que a las variedades de quinua.

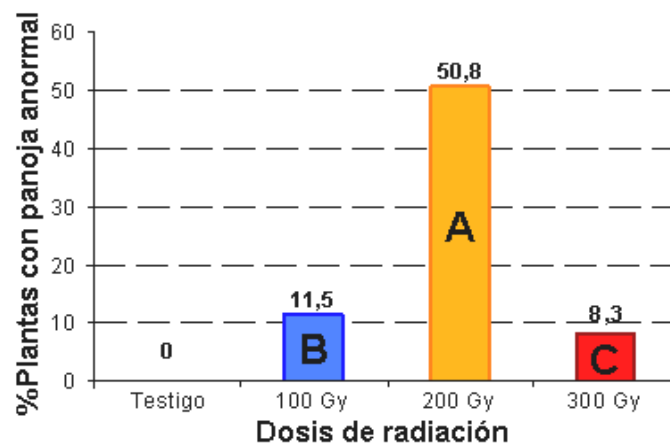
Esta descripción demuestra que la interacción entre variedades y dosis de radiación pueden influir en la forma de las partes de una planta.



**Figura 26. Comparación medias para el porcentaje de plantas con panoja anormal para las variedades de quinua. Duncan (5%)**

En la figura 26, se observa que existe seis grupos diferenciados, primero está la variedad Pasankalla que presentó 33% de plantas que no formaron una panoja normal, luego esta la variedad Pandela precoz con el 27.5%, finalmente las variedades Pandela tardía, Real blanca, Puñete blanco y Real negra presentaron valores del 9.5, 10, 11.5 y 14.5% respectivamente.

Se observa que la variedad Pasankalla presentó mayor cantidad de plantas con panojas anormales, esto debido a las características de la variedad como su fenología, la altura de planta y forma de panoja.



**Figura 27. Comparación de medias para el porcentaje de plantas con panoja anormal, para las cuatro dosis de radiación. Duncan (5%)**

En la figura 27. Existen diferencias significativas en el porcentaje de plantas con panojas anormales en las cuatro dosis de irradiación, se observa cuatro grupos estadísticamente diferentes, la dosis de 200 Gy presentó un 50.8% de plantas con panoja anormal, las dosis de 100 y 300 Gy presentaron valores comprendidos entre un 11.5 y 8.3% respectivamente.

Las diferencias se debe a que la dosis de irradiación de 100 Gy es muy débil para producir una gran ruptura de células, en cambio la dosis de 300 Gy además de no llegar a pasar la etapa de cuatro hojas verdaderas; muy pocas plantas llegan a madurar y si lo hacen presentan panojas pequeñas pero sin deformaciones y con ausencia de frutos.

Novak *et al.*, (1992), añade que a medida que aumenta la dosis de radiación, se incrementa el deterioro de la planta y disminuía la frecuencia de mutaciones económicamente útiles.

#### 6.2.6 Porcentaje de supervivencia de plantas antes de la cosecha.

El análisis de varianza (ANVA) para la variable porcentaje de supervivencia al final del ciclo vegetativo se muestra en el cuadro 17.

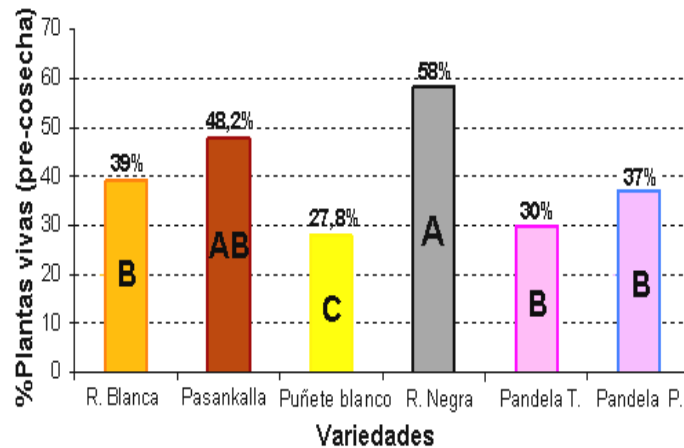
**Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable porcentaje de supervivencia antes de la cosecha**

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	5.326	1.065	11.40	0.0001	*
Dosis	118.755	39.585	423.76	0.0001	*
V*D	17.470	1.164	12.47	0.0001	*
Error	6.725	0.093			
Total	148.278				
<b>C.V. = 9.52%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 17) muestran que existen diferencias significativas entre variedades, por lo tanto se asume que el porcentaje de sobrevivencia antes de la cosecha entre variedades es heterogénea, para el factor dosis también existe diferencias significativas entre las cuatro dosis de radiación.

Para la interacción entre variedades de quinua y dosis de radiación presenta diferencias significativas resultando así ambos factores dependientes el uno del otro.



**Figura 28. Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia antes de la cosecha de las variedades de quinua. Duncan (5%)**

La comparación de medias para el porcentaje de supervivencia antes de la cosecha (figura 28), reporta que la variedad Real negra estadísticamente es superior a las demás variedades con un valor promedio del 58% de supervivencia, luego esta la variedad Pasankalla con 48.2% de supervivencia, las variedades Pandela tardías, Pandela precoz y Real blanca presentaron valores comprendidos entre 30, 37 y 39% de supervivencia, finalmente la variedad Puñete blanco presente estadísticamente el valor mas inferior del grupo con un 27.8% de supervivencia.

Los valores con promedios inferiores al 30% se deduce al efecto de la radiación y al medio externo que los rodeo.



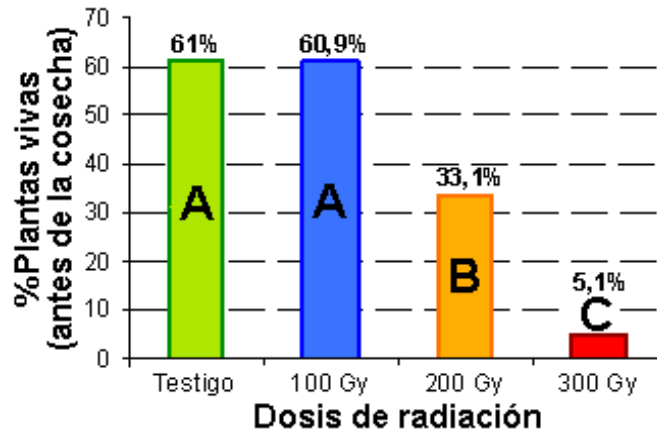


Figura 29. Comparación de medias del porcentaje de supervivencia antes de la cosecha por el efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%)

La comparación de medias Duncan (figura 29), reporta tres grupos de media en las cuales el primer grupo integrado el testigo y la dosis de radiación 100 Gy con promedios del 61 y 60.9% respectivamente, el segundo grupo integrado por la dosis 200Gy con un promedio de supervivencia de plantas del 33.1% y el ultimo grupo conformado por la dosis 300 Gy con un promedio de supervivencia del 5.1%.

Al respecto González *et al.*, (1997), menciona que diversos investigadores han observados un gran reducción en la supervivencia de la plantas, por efecto de altas dosis de irradiación y lo atribuyen a la destrucción de la auxinas y sus precursores y a la inactivación de la capacidad de dividirse de las células.

### 6.3 Variables a la cosecha.

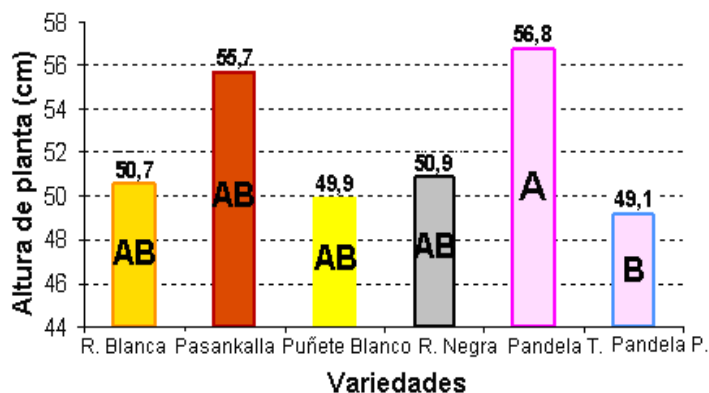
#### 6.3.1 Altura de la planta

Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm.)

Fuentes de variación	SC	CM	Fc	Pr. >F	
Variedades	831.654	166.330	1.98	0.0919	*
Dosis	56877.988	18959.329	225.69	0.0001	*
V*D	4237.298	282.486	3.36	0.0003	*
Error	6048.324	84.004			
Total	67995.265				
<b>C.V. = 17.56%</b>					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = Significativo.

El análisis de varianza (cuadro 18), muestra una diferencia significativa entre variedades, por tanto se asume que la altura de planta entre variedades es heterogénea, mientras que para el factor dosis también existe diferencias significativas entre las cuatro dosis de irradiación para la altura de plantas en estudio. Para la interacción entre las variedades y las dosis de radiación resultaron significativos presentando así también un efecto heterogéneo en la altura de planta.



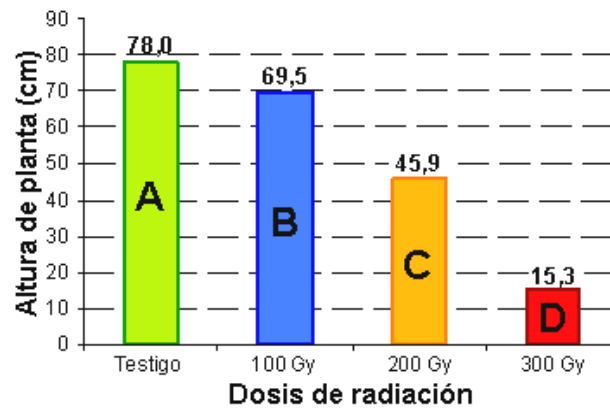
**Figura 30. Comparación de medias de la altura de planta (cm.) en las variedades de quinua. Duncan (5%)**

En la figura 30 se observa que no existen diferencias significativas en la altura de planta entre las variedades Pasankalla y Pandela tardía que alcanzaron la mayor altura con 55.7 y 56.8 cm. respectivamente.

Las variedades Puñete blanco, Real blanca y Real negra obtuvieron la altura de 49.9, 50.7 y 50.9 cm. respectivamente. La variedad Pandela precoz presento el promedio más bajo 49.1cm de altura de planta.

Al respecto Durand (1999), menciona que las diferencias en altura probablemente se deban a la diversidad genética, coadyuvado por los factores externos en la fase vegetativa y de reproducción.

Broertjes y Van Harten (1988), mencionan que en la gran mayoría de las especies sometidas a radiaciones gamma sobresalen las modificaciones en la altura de la planta.



**Figura 31. Comparación de medias de la altura de planta por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%)**

La comparación de medias de la figura 31 reporta que el testigo (78 cm.) estadísticamente es sobresaliente ante los tratamientos que fueron irradiados con cobalto-60, la dosis de 100 Gy (69.5cm) presenta el segundo valor mas alto resultando superior ante las demás dosis de radiación, la dosis de 200 Gy (45.9cm) y finalmente la dosis mas letal 300 Gy con 15.3 cm. de altura final.

La reducción de crecimiento vegetal esta relacionada directamente a la dosis de radiación, así lo menciona Gonzáles *et al.*, (1997) que existen investigaciones donde se han observado una gran reducción en la altura de planta, por efecto de altas dosis de radiación, atribuido a la inactivación de la capacidad de dividirse de las células meristemáticas.

### 6.3.2 Longitud de raíz.

El análisis de varianza (ANVA) para la longitud de raíz en seis variedades de quinua irradiadas con cobalto-60, se muestra en el cuadro 19.

**Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable longitud de raíz**

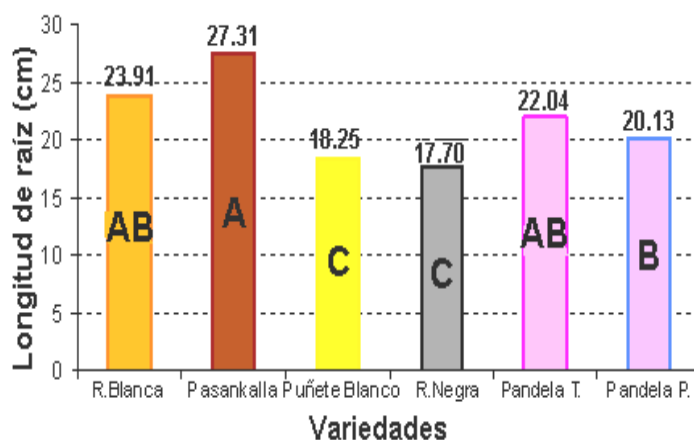
Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	10.4320	2.0864	22.28	0.0001	*
Dosis	46.1710	15.3903	164.37	0.0001	*
V*D	16.5612	1.1040	11.79	0.0001	*
Error	6.7413	0.0936			
Total	79.9056				

C.V. = 10.59%

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

El análisis de varianza (cuadro 19), muestra diferencias significativas entre variedades; por lo tanto se asume que la longitud de raíz entre variedades es heterogénea, mientras que para el factor dosis de radiación también existe diferencias significativas entre las cuatro dosis de radiación.

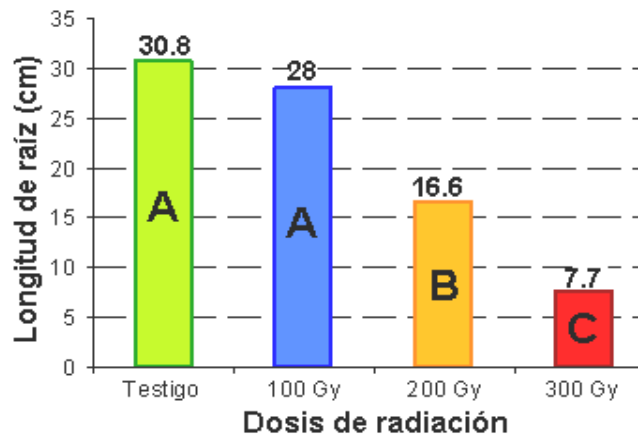
Así también la interacción entre las variedades de quinua y las dosis de radiación (V\*D) tiene un efecto directamente causado por las dosis de radiación para la longitud de raíz.



**Figura 32 Comparación de medias para la longitud de raíz de las variedades de quinua. Duncan (5%).**

Las comparaciones de medias (figura 32) reporta que la variedad de quinua Pasankalla estadísticamente es diferente pero no superior (27.31cm) los valores que le siguen son de las variedades Real blanca, Pandela tardía y Precoz, de la misma forma las variedades Puñete blanco y Real negra estadísticamente son diferentes e inferiores, pero a la vez relativamente son similares a los genotipos primeramente citados.

La diferencia se atribuye en este caso no a las características de las variedades de quinua, sino probablemente mas a las dosis de radiación con cobalto-60 que provocó cambios en la fisiología de la planta.



**Figura 33 Comparación de medias para la longitud de raíz por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%).**

De acuerdo a la comparación de medias para la longitud de raíz (figura 33) reporta que las dosis de radiación de 100Gy y el testigo estadísticamente no afectaron a la longitud de raíz en las variedades de quinua por tanto son similares (30.8 y 28cm) pero superiores frente a la dosis de radiación de 200 Gy (16.6cm) y la última dosis de radiación de 300Gy es estadísticamente inferior a todas las demás dosis (7.7cm)

En este caso, el promedio mayor de longitud de raíz se atribuye al testigo, ya que normalmente la quinua tiene una gran capacidad de enraizar profundamente aún en condiciones de estrés ocasionado por el suelo o falta de agua. No funcionó así para las plantas sometidas a la radiación con cobalto-60 que no desarrollaron raíces principales y tampoco se elongaron normalmente.

### 6.3.3 Peso de grano por panoja.

El análisis de varianza (ANVA) para el peso de grano por panoja en seis variedades de quinua irradiadas con cobalto-60 se muestra en el cuadro 20.

**Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable peso de grano por panoja.**

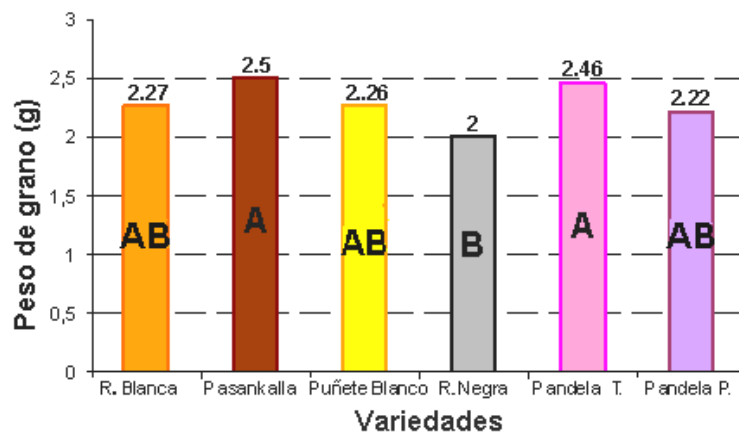
Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	5.0713	1.0142	2.29	0.0544	*
Dosis	115.1957	38.398	86.79	0.0001	*
V*D	13.9532	0.9302	2.10	0.0192	*
Error	31.8546	0.4424			
Total	166.0750				
C.V. 25.41%					

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = Significativo.

El análisis de varianza (cuadro 20), muestra las diferencias significativas entre variedades, por tanto se asume que el peso de grano entre variedades; es heterogéneo sobre todo en aquellas plantas que fueron sometidas a la irradiación. Para la variable dosis de radiación existen diferencias significativas entre las cuatro dosis entre los valores promedios de las seis variedades de quinua en el peso de grano por panoja.

La interacción variedades de quinua por dosis de irradiación (V\*D) presentó diferencias significativas entre niveles de radiación que tiene un efecto heterogéneo en el peso de grano por panoja.

Al respecto Durand (1999), menciona que la diferencia se debe indudablemente a la diversidad genética, poder y energía germinativa de las semillas, coadyuvando factores externos (radiación).

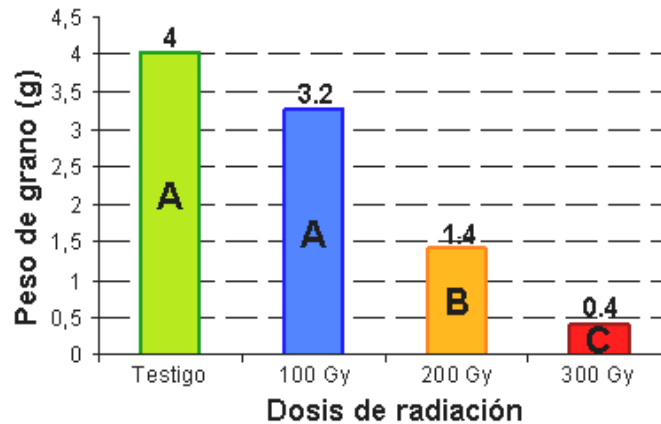


**Figura 34. Comparación de medias del peso de grano para las variedades de quinua. Duncan (5%)**

La comparación de medias (figura 34), reporta estadísticamente tres grupos de medias, en las cuales el primer grupo integrado por las variedades de quinua Pasankalla y Pandela tardía con un promedio de peso de grano 2.5 y 2.46 g./planta, el segundo grupo integrado por las variedades de quinua Real blanca, Puñete blanco y Pandela precoz con un promedio de grano 2.27, 2.26 y 2.22 g./planta, finalmente el tercer grupo integrado por la variedad Real negra con un promedio de 2 g/planta.

La diferencia del peso de grano entre las variedades probablemente se debe a la peculiaridad de la diversidad genética e interacción con la radiación, que influyo en los procesos fisiológicos de la planta.

Así también Gómez *et al.*, (2008), menciona que la irradiación con cobalto-60 produce flores formadas pero sin estructuras reproductivas o estas están presentes pero hay aborto de polen o también del embrión, disminuyendo la cantidad de grano.



**Figura 35. Comparación de medias del peso de grano por panoja por efecto de las dosis de radiación. Duncan (5%)**

La comparación de medias (figura 35), reporta que el testigo estadísticamente es diferente y superior frente a las demás dosis de irradiación, la dosis de radiación de 100 Gy presentó el valor de 3 g. en promedio por panoja por lo que se asume que la radiación no tuvo efecto sobre el peso de grano por panoja, en cambio las dosis de radiación de 200 y 300 Gy presentaron promedios inferiores (1.4 y 0.4 g.) frente al testigo demostrando que los resultados fueron afectados por la irradiación reduciendo extremadamente la variable peso de grano.

Esto puede ser a causa de la irradiación con cobalto-60 que influye sobre todo en la estructura de la planta, además tiene un efecto indirecto sobre las plantas ocasionando grandes pérdidas, incidiendo sobre todo a medida que existe un desarrollo vegetativo y una actividad metabólica y fisiológica de la planta.

#### **6.4 Variables fenológicas.**

A continuación se presenta el análisis de varianza de la variable fenológica que se evaluó en la investigación como ser los días totales de cada variedad a la cosecha



### 6.4.1 Días a la cosecha

Cada tratamiento se evaluó individualmente y se obtuvo valores promedios entre tratamientos, estos resultados se presentan a continuación en el siguiente cuadro.

**Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable días a la cosecha**

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	21955.6770	4391.135	1302.42	0.0001	*
Dosis	14129.4479	4709.815	1396.94	0.0001	*
V*D	24664.3645	1644.290	487.70	0.0001	*
Error	242.7500	3.371			
Total	60992.2395				

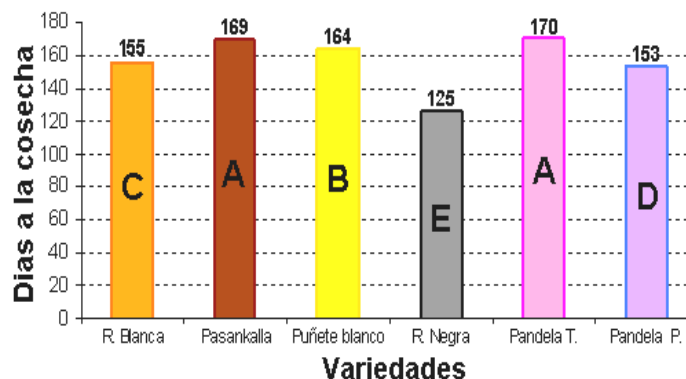
C.V.= 1.17%

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado; P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo

En el cuadro 21, se observa que para el número de días a la cosecha entre variedades existen diferencias significativas, debido a la fisiología de las diferentes variedades utilizadas.

Respecto a las dosis de radiación, existen diferencias significativas, esto por que en su mayoría todos los tratamientos presentaron plantas vivas con las cuales se realizó el contéo de los días a la cosecha.

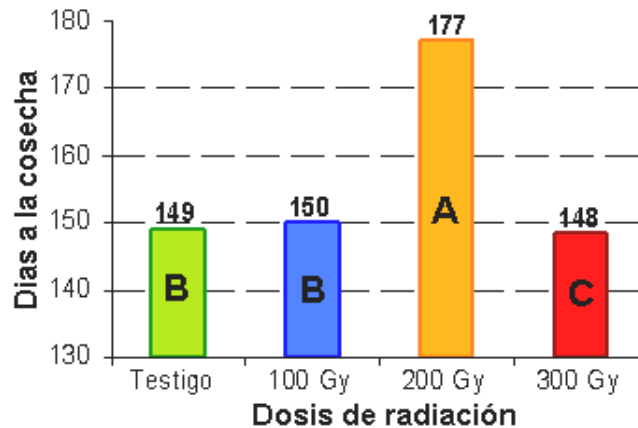
Así también se observa diferencias significativas para la interacción variedad por dosis, esto por lo mismo anteriormente citado por lo que los dos factores son dependientes.



**Figura 36. Comparación de medias del número de días a la cosecha, para las variedades de quinua, Duncan (5%)**

La figura 36, presenta la prueba de Duncan para el número de días a la cosecha, se observa que la variedad Real negra y Real blanca estadísticamente son diferentes y

superiores presentando valores inferiores con 125 y 155 días y con promedios superiores o iguales a 170, 169 y 164 días las variedades Pandela tardía, Pasankalla y Puñete blanco, finalmente la variedad Pandela precoz con 153 días. La diferencia de genotipos radica en gran parte a las diferencias genéticas entre genotipos y que esta asociada a la procedencia del material genético.



**Figura 37. Comparación de medias para el número de días a la cosecha por efecto de las dosis de radiación en invernadero, Duncan (5%)**

La figura 37, describe la prueba de Duncan para las cuatro dosis de radiación con cobalto-60 en seis variedades de quinua, reporta que la dosis de 200 Gy tardo mayor tiempo para llegar a la madurez fisiológica, las otras dosis incluyendo el testigo presentaron valores iguales e inferiores a 150 días.

Lira (1994); indica que las perturbaciones causadas por la variación ambiental y los eventos del desarrollo pueden intensificar o aun suprimir la tasa de crecimiento y fluctuar el paso del tiempo sobre el desarrollo.

## 6.5 Determinación de la dosis letal media (DL-50)

Con los datos de siete variables de respuesta, con las que se midió el DL-50 se obtuvo un promedio, obteniendo así la dosis letal media para cada variedad, estos resultados se observan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 22. Análisis de la dosis letal media para siete variables de respuesta, para las variedades de quinua**

Variedades	Variables de respuesta							Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	
Real blanca	280	160	140	140	170	190	250	190
Pasankalla	260	270	120	150	140	225	235	200
Puñete blanco	220	230	200	170	160	190	160	190
Real negra	170	300	60	160	90	210	130	160
Pandela tardía	230	140	265	80	80	200	265	180
Pandela precoz	250	220	200	140	180	180	250	203

**Donde:**

1. %Germinación en laboratorio
2. Longitud hipocotilo
3. Altura de planta a los 15 dds (Anexo 1,2.)
4. %Plantas con hojas verdaderas a los 15 dds (Anexo 4,5)
5. Altura de planta a los 75 dds (Anexo 1,2.)
6. %Supervivencia a la cosecha
7. Longitud de raíz a la cosecha

En el cuadro 22, se observa los resultados del cálculo de la dosis letal media de siete variables de respuesta para las seis variedades de quinua, donde se observa que las dosis difieren de una variable a otra, estas diferencias encontradas se debió a las diferentes etapas en las cuales se obtuvieron los datos. (sensibilidad del material).

La dificultad está en que a medida que aumenta la dosis de radiación, se incrementaba el deterioro de la planta y disminuye la frecuencia de mutaciones económicamente útiles.

González *et al.*, (1997) en sus estudios realizados en arroz sugiere que la altura de planta, supervivencia de plantas, granos llenos por panícula y la germinación de la semilla son índices adecuados para encontrar la curva de radiosensibilidad.

Gómez *et al.*, (2008), utilizó el porcentaje de germinación, el desarrollo de hojas verdaderas, longitud de la parte aérea (altura de plantas) longitud de la parte radicular; para determinar la dosis de radiación óptima para diferentes cultivos entre ellos la quinua.

**Cuadro 23. Dosis óptimas (DL-50) de irradiación para las seis variedades de quinua.**

<b>Variedades</b>	<b>DL50 (Gy)</b>
Real blanca	190
Pasankalla	200
Puñete blanco	190
Real negra	160
Pandela tardía	180
Pandela precoz	203

Gy: Grey, unidad de medida de la radiación

En el cuadro 23, se presenta el promedio de las siete variables de respuesta para la dosis letal media. A partir de las mismas se pueden diseñar trabajos de fitomejoramiento ya que existe mayor probabilidad de encontrar mutaciones las cuales son muy amplias (Sonnino y Mendoza, 1998).

Se sabe que los experimentos para calcular la dosis letal 50 (DL<sub>50</sub>), que es la dosis donde el 50% de la población muere, sirve para conocer las dosis donde probablemente se presentaran el mayor número de mutaciones. (Rubluo et al., 1987).

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis de los resultados y discusión sobre las variables estudiadas en laboratorio e invernadero se enuncian las siguientes conclusiones.

Los resultados obtenidos permiten señalar que las variedades tratadas con rayos gamma cobalto-60 presentaron un comportamiento diferente a las características de su origen.

Se observó el efecto de la interacción entre los genotipos y las dosis de irradiación en todos los parámetros.

- Las pruebas realizadas en laboratorio indican que las variedades de quinua presentaron un comportamiento similar entre tratamientos y así como se esperaba las dosis altas de 300 Gy provocaron disminución en el porcentaje de germinación y el desarrollo de la raíz y el hipocotilo.
- Todas las variedades presentaron un desarrollo normal en laboratorio para todos los tratamientos durante los primeros seis días, manteniéndose con un porcentaje de semillas vivas y sanas del 50 a 64%. Así ocurrió para las diferentes dosis de radiación que presentaron valores entre el 51 y 61% para todos los tratamientos.
- Los resultados obtenidos en invernadero fueron significativamente diferentes a los de laboratorio, se obtuvo diferencia en el porcentaje de emergencia y supervivencia a los 35 días después de la siembra, los resultados muestran que existió buena emergencia de semillas en las dosis elevadas (200 y 300 Gy) respecto al testigo, pero estas dosis bajaron sus porcentajes de plantas vivas a los 35 días después de la siembra, sobre todo la dosis de 300 Gy donde la mayoría de las plantas no llegaron a formar hojas verdaderas.
- Para el porcentaje de plantas con dos hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra la variedad Real blanca presentó valores del 47,6%, lo cual indica que su desarrollo fue normal, así también la evaluación entre dosis mostró que el

testigo (66,5%) se desarrollo normalmente a comparación de las otras dosis que tardaron en formar hojas verdaderas.

- En la evaluación que se realizó para la presencia de quimeras se obtuvo que la variedad Real blanca presentó a los 50 días después de la siembra un 78% de hojas quebradas o anormales y la variedad que menos deformaciones presento fue la Real negra (43%) a los 75 días después de la siembra, La dosis que mayores daños provocó en las hojas fue la de 200 Gy con un 74.70% a los 50dds, 73.64% a los 75 dds y 83.64% a los 90 dds.
- La dosis de 200 Gy, provocó mayor cantidad de deformaciones sobre las seis variedades de quinua con 50.8% de daños.
- El menor promedio en altura de planta fue para la dosis de 300 Gy, (15.3 cm.) con respecto al testigo que alcanzó 78 cm. en promedio, así mismo esta dosis afecto también en el desarrollo normal de la raíz y además se obtuvieron plantas precoces con 148 días con respecto al testigo que resulto con 149 días en promedio.
- El mayor porcentaje de plantas vivas al final del ciclo, con un 58% fue para la variedad Real negra y la variedad Puñete blanco con 27.8 % de plantas vivas.
- La dosis de 300 Gy presentó valores de 5.1% de plantas vivas en cambio el testigo tuvo un 61% en promedio seguido de muy cerca por la dosis de 100Gy, con 60.9% que muestra un valor óptimo.
- Al analizar los datos obtenidos durante el estudio se obtuvo que la dosis letal media para la variedad Real blanca es 190Gy, Pasankalla 200Gy, Puñete blanco 190 Gy, Real negra 160Gy, Pandela tardía 180 Gy, Pandela precoz 203 Gy. Observando estos resultados entre variedades, se concluye que la variedad más resistente a la radiación es Pasankalla y la más sensible es la variedad Real negra.

## 8. RECOMENDACIONES

Al final del presente ensayo y de acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- Se sugiere realizar ensayos con las mismas variedades de quinua, sometiéndolas a las dosis de radiosensibilidad (DL - 50) encontradas en el presente trabajo para encontrar mutaciones favorables.
- Evaluar la variabilidad genética de las variedades sometidas a la radiación y así observar cual ha sido el daño que provocó la radiación.
- Continuar con los estudios en las semillas obtenidas segunda generación (M2) para comprobar si la radiación a la que fue sometida la generación uno (M1) provocó modificaciones genéticas.
- Continuar con los trabajos de investigación con la semilla obtenida en invernadero, para encontrar modificaciones genéticas positivas y útiles en generaciones avanzadas (población 2, población 3 y población 4).
- Trabajar con otras variedades tomando muy en cuenta: las características de la semilla (semilla mejorada), realizando las pruebas de laboratorio pertinentes antes de la irradiación, posteriormente a la irradiación trabajar inmediatamente con el material biológico en laboratorio e invernadero.

## LITERATURA CITADA

- **ASCARRUNZ, M. E., OLIVARES, J. 2000.** Enfoque Bioético del desarrollo tecnológico en relación a la Mutagenicidad y los Organismos Transgénicos BIOFARBO vol. VIII La Paz, Bolivia. 12 p.
- **AZCÓN-BIETO, J; TALÓN, M. 1993.** Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid, ES. McGraw- Hill/Interamericana. 581 p.
- **BESHOST A DE. 1965.** Mejoras introducidas en la preparación de sustancias mutagénicas a partir de vegetales, Memoria descriptiva para solicitar patente de invención en Madrid España, a nombre de Commissariat a L`Energie Atomique, entidad francesa. 5p.
- **BROERTJES C., Y VAN HARTEN A. M., 1988.** Dahlia variabilis. In applied mutation breeding for vegetatively propagated crops. Elsevier Developments in crop science 12. pp: 88 - 95.
- **CREATELO, S. E. 2006.** Mejoramiento genético mediante inducción de mutaciones. Instituto de Investigaciones del Arroz (II Arroz). Autopista del Mediodía, Km. 16 1/2, Bauta, La Habana, Cuba.
- **CRUZ - COKE, M. R., 2003.** Valoración de trabajos clásicos en la historia de la genética. Revista Medica de Chile 2003: 131; 220-224.
- **DELGADO DE LA F. L. 1970.** Frecuencia de Mutaciones Inducidas por Inducidas por Radiación Gamma y Metanosulfonato de Etilo en la Semilla de Frijol. Costa Rica. Tesis de Grado de Magíster Scientiae.
- **DE LA CRUZ T. E.; GARCÍA. A. J., 1999.** Situación actual y perspectivas del Mejoramiento por mutagenesis. IV Seminario nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. (1999, Chapingo, México) Memorias. Chapingo, México. p.118.



- **DIZES, J; BONIFACIO, A., 1992.** Estudio en microscopia electrónica de la morfología de los órganos de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de la cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.) en relación con la resistencia a la sequia. In Congreso Internacional de cultivos andinos. (7mo, La Paz, BO). Acta La Paz, BO. s.e. p. 9-74.
  
- **DOMÍNGUEZ, A., C., 1999.** ¿Que es la radiación, interacción radiación materia y dosimetría? IV Seminario nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. (1999, Chapingo, México) Memoria. Chapingo, México. p. 8.
  
- **DURAND, 1999.** Indian Journal of Agricultural Sciencie. 52. Maharashtra, India.
  
- **ELLIOT, F. 1964.** Citología y mejoramiento de plantas. Compañía Editorial Continental S.A. México D.F., México. 98p.
  
- **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001.** Cultivos Andinos: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Eds. A Mujica; SE Jacobsen; J Izquierdo; JP Marathee. Santiago, CL. (Disponible en CD-ROOM).
  
- **GANDARILLAS, H. 2001.** Historia de la Investigación para el Desarrollo Agropecuario en Bolivia. Eds. Humberto, Carlos y Antonio Gandarilla A. Cochabamba, Bolivia. 232 p.
  
- **GÓMEZ, F. 2001.** Aspectos biológicos y médicos básicos sobre las radiaciones ionizantes: Colegio Internacional de Médicos Nucleares, A.C parte I, trabajo publicado en el boletín del hospital infantil de México.
  
- **GÓMEZ, L. 1970.** Inducción Artificial de Mutaciones de Papas criollas (*Solanum phureja* er. Buk) Instituto Colombiano Agropecuario. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado de Magister Scientiae. Colombia.

- **GÓMEZ P. L. 1998** Protocolo para la Aplicación de la Inducción de Mutaciones en el mejoramiento genético de plantas propagadas por semillas, programa de cereales y granos nativos, universidad nacional agraria de la Molina, Lima Perú.
- **GOMEZ, L.; ROMERO, M.; JIMENEZ, J.; ROLDAN, A.; EGUILUZ, B.; 2008.** Mejoramiento de la Quinoa (*Chenopodium Quinoa*), Mediante Mutaciones Inducidas. Universidad Nacional Agraria La Molina, Programa de Cereales. Lima - Perú.
- **GONZÁLEZ N. L. M. ET. AL., 1997**, Mejoramiento genético en arroz para la tolerancia a la salinidad a través de la radióinducción de mutantes. Instituto de investigaciones agropecuarias “Jorge Dimitrov”, Granma, Cuba. Instituto de investigaciones fundamentales en agricultura tropical “Alejandro de Humboldt” Ciudad de la Habana, Cuba.
- **GONZÁLEZ N. L. M ET. AL, 2002**, La radioinducción de mutaciones en las plantas y sus beneficios para la agricultura, Revista Semanal NUCLEUS, publicada por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, CITMA. Ciudad de La Habana, Cuba. 49 p.
- **GTZ (Cooperación Técnica Alemana, DE); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR); INIAP (Instituto Nacional Autonomo de Investigación Agropecuaria); ERPE (Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador). 2001.** Manual de producción de quinua. Quito, EC. S.e. 135 p.(Disponible en CD)
- **GUTIÉRREZ, I. A.; DE LA CRUZ T. E.; LAGUNA C. A.; GARCIA A. J., 1999.** Avances en el mejoramiento genético de *Dahlia coccinea* y *D. pinnata* por mutagénesis radioinducida. IV Seminario nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. (1999, Chapingo, México) Memorias. Chapingo, México. p. 40, 45, 47.

- **IAEA, 1995.** Manual on Mutation Breeding. International Atomic Energy Agency. Technical Reports. Series N/119. Viena. Pp 33-42.
- **IAEA, 2008.** La ciencia nuclear al servicio de la seguridad alimentaria. Revista Press Release Viena.
- **INE (Instituto Nacional de Estadística). 2005.** Atlas Estadístico de Municipios. p. 228.
- **LEÓN H. J. M. 2003.** Cultivo de la Quinoa en Puno-Perú descripción, manejo y producción Puno - Perú 63p.
- **LEMUS, Y.; MENDEZ-NATERA, J. R.; CEDEÑO, J. R. Y OTAHOLA-GOMEZ, V. 2002.** Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma. Revista UDO. Agrícola, Universidad de Oriente Departamento de Agronomía. Maturín estado de Monagas, México. 7 p.
- **LIRA, JR. 1994.** Fisiología vegetal. Ed. Trillas. 1ª edición. México. 224 p.
- **LOPEZ 2001,** Cultivo controlados Editorial MAGE. Quito - Ecuador. Volumen 3. serie Nº 5.
- **MONTOYA M. 2007.** Energía Nuclear en el Perú, Ed. Centro de preparación para la ciencia y Tecnología CEPRECYT. Lima Perú. 131 P.
- **MÚJICA, A; CANAHUA, A. 1989.** Características fenológicas del cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). In curso taller de fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. (1988, Puno, PE). Memoria. Puno, PE. p. 22-27
- **MÚJICA, A; IZQUIERDO, J; JACOBSEN, S-E. 2004.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Cultivo ancestral, alimento del presente y futuro. Puno, Peru. FAO, UNA, CIP. 315 p.

- **NOVAK F.J., BRUNNER H. 1992.** Fitotecnia: tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos, Boletín del OIEA, Viena, Austria. 2p.
- **ORRELLANA W. 2007.** Mutagenesis; Agentes Físicos y Químicos, Diplomado en Biología celular y Molécula, Facultad de ciencias, Universidad de Chile.
- **O.I.E.A. 1977.** Organismo Internacional de Energía Atómica.
- **PHOELMAN, J. M. 1992.** Mejoramiento genético de las cosechas, Limusa, México. DF. México 453 p.
- **PALMA, G. 2007.** Comparación agrofisiológica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). y las consecuencias del raleo en los componentes de rendimiento y la calidad del grano, en el altiplano norte de Bolivia. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, BO. UMSA. 122 p.
- **PESKE, S. 2004.** Especialización en tecnología de semillas por tutoría a distancia: Producción de semillas (guía en manejo de semillas). La Paz, BO. Programa Nacional de Semillas. 81 p.
- **POULSEN, K.M. 1999.** Análisis de semillas. CATIE. Danida Forest Seed Centre, Lectura en Pdf.
- **PRINA ET AL., 1988.** Influence of marker genes on the expression of somatic mutations in barley. J Hered, 79 371- 376.
- **ROBLES, S. 1991.** Genética elemental y fitomejoramiento. México, Limusa. Pp 400-401.
- **RODRÍGUEZ, M. 1991.** Fisiología Vegetal. Ed. Los amigos del libro. Cochabamba, Bolivia, 445 p.
- **ROMERO, M. 1989.** Seminario Internacional sobre el Cincuentenario del Descubrimiento de la Fisión Nuclear, Lima, 24-28 de Abril de 1989, Revista Peruana de Física, Vol III Lima, Perú.

- **RUBLUO, A.; BRUNNES I., 1999.** Aplicación de técnicas nucleares y biotecnológicas en la inducción de variabilidad en especies en peligro de extinción. IV Seminario nacional sobre el uso de la irradiación en fitomejoramiento. (1999, Chapingo, México) Memoria. Chapingo, Mexico. p. 80.
- **SÁNCHEZ G, J. L. 2005.** La Mutación e información celular. Editorial Alpires, 10p Ciudad de México-México
- **SERNAC (Servicio Nacional del Consumidor). 2010.** Santiago, Chile <http://www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=892>
- **SILVA, A. G. 1998.** Que es y como se calcula la DL50 en insecticidas, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 8p.
- **SINGH, B. 1994.** Plant Breeding, Principles and Methods. Firth Edition. Kalyani Publishers Ludhiana, India. 667p
- **STADLER, L. J., 1930.** Some genetics effects of rasy in plants. Journal of heredity 21(1), pp 3 - 19.
- **SONNINO Y MENDOZA, 1998.**, Acción de las radiaciones gamma sobre la fertilidad del trigo Cuba-C-204. Comportamiento de las etapas de formación del polen en siembra de primavera. IV taller “Las radiaciones y los isótopos en la agricultura”, La Habana (1993) Resúmenes, 5.
- **TAPIA, M. 1979.** La quinua y la kañiwa Cultivos andinos Editorial IICA, Bogotá, Colombia 225 p.
- **TAGLE, M; PLANELLA, M. T. 2002.** La quinua en la zona central de Chile, supervivencia de una tradición prehispánica. Santiago, CL. Editorial IKU. 117 p.

ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas con panoja vacía

Fuentes de variación	SC	CM	Fc.	Pr. >F	
Variedades	1936.763	387.352	1379.75	0.0001	*
Dosis	10437.585	3479.195	12392.92	0.0001	*
V*D	7593.201	506.213	1803.14	0.0001	*
Error	20.213	0.280			
Total	19987.763				

C.V. = 3.73%

S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrado medio; Fc. = F calculado;  
P. = Probabilidad (Ft 5%); \* = significativo.

### Anexo 2. Comparación de medias para el porcentaje de plantas con hoja panoja vacía entre variedades y dosis.

Comparación entre variedades			Comparación entre dosis		
Variedades	% de panojas vacías	Duncan (5%)	Dosis	% de panojas vacías	Duncan (5%)
V4.Real negra	8.0	E	Testig	0	
V2.Pasankalla	21	A	0	11.9	C
V6.Pandela p.	15.3	C	100Gy	29.2	A
V3.Puñete b.	10.8	D	200Gy	16	B
V5.Pandela t.	18.7	B	300Gy		
V1.Real blanca	11	D			

### Anexo 3. Promedio del porcentaje de germinación en laboratorio (datos reales)

Variedad	Dosis de radiación	% Supervivencia		Variedad	Dosis de radiación	% Supervivencia	
		Real	Ln			Real	Ln
Real blanca	0	60	4,100	Real negra	0	80,736	4,391
	100	56	4,030		100	46,383	3,836
	200	69	4,230		200	57,254	4,047
	300	64	4,151		300	56,279	4,030
Pasankalla	0	53	3,967	Pandela tardía	0	58,391	4,067
	100	52	3,960		100	57,573	4,053
	200	55	4,010		200	64,653	4,169
	300	47	3,853		300	78,951	4,368
Puñete blanco	0	47	3,848	Pandela precoz	0	46,697	3,843
	100	51	3,937		100	47,944	3,87
	200	46	3,819		200	53,013	3,970
	300	62	4,123		300	58,837	4,074

**Anexo 4. Promedio del porcentaje de supervivencia en laboratorio (datos reales y transformados a logaritmo natural)**

Variedad	Dosis	% de Germinación	Variedad	Dosis	% de Germinación
Real blanca	0	99,65	Real negra	0	96,8
	100	86		100	95,3
	200	87,175		200	99,3
	300	93,775		300	99,3
Pasankalla	0	81,75	Pandela tardía	0	87,8
	100	81,75		100	91,8
	200	79,75		200	97,3
	300	89,75		300	78
Puñete blanco	0	85,25	Pandela precoz	0	86,3
	100	88,25		100	92
	200	89		200	99,5
	300	76		300	83

**Anexo 5. Promedio para la longitud de hoja cotiledónal en laboratorio (datos reales y transformados a logaritmo natural)**

Variedad	Dosis de radiación	Long de hoja		Variedad	Dosis de radiación	Long de hoja	
		Real	Ln			Real	Ln
Real Blanca	0	3,033	1,11	Real Negra	0	3,088	1,12
	100	2,833	1,04		100	3,1	1,13
	200	2,755	1,01		200	2,658	0,97
	300	3,103	1,13		300	2,41	0,87
Pasankalla	0	3,033	1,11	Pandela tardía	0	3,175	1,15
	100	2,9	1,06		100	2,275	0,82
	200	2,753	1,01		200	2,625	0,96
	300	2,91	1,07		300	2,373	0,86
Puñete Blanco	0	3,358	1,21	Pandela precoz	0	2,408	0,87
	100	2,563	0,94		100	2,415	0,88
	200	2,215	0,8		200	2,938	1,07
	300	2,31	0,84		300	1,738	0,55

**Anexo 6. Promedio para la longitud de raíz en laboratorio (datos reales)**

Variedad	Dosis de radiación	Long de raíz	Variedad	Dosis de radiación	Long de raíz
Real blanca	0	5,65	Real negra	0	5,83
	100	4,85		100	6,85
	200	4,53		200	5,17
	300	4,81		300	4,31
Pasankalla	0	5,61	Pandela tardía	0	6,928
	100	5,23		100	4,395
	200	4,41		200	4,825
	300	4,2		300	3,4
Puñete blanco	0	5,83	Pandela precoz	0	3,575
	100	6,85		100	4,625
	200	5,17		200	4,828
	300	4,31		300	3,05



**Anexo 7. Promedio del porcentaje de emergencia en invernadero.**

Variedad	Dosis de radiación	%Emergencia	Variedad	Dosis de radiación	%Emergencia
Real Blanca	0	70,9	Real Negra	0	91,0
	100	81,2		100	82,3
	200	74,2		200	92,2
	300	84,1		300	91,7
Pasankalla	0	77,7	Pandela tardía	0	65,9
	100	87,7		100	73,3
	200	73,7		200	68,7
	300	84,8		300	65,2
Puñete Blanco	0	68,4	Pandela precoz	0	65,9
	100	78,3		100	73,3
	200	68,8		200	68,7
	300	67,7		300	65,2

**Anexo 8. Promedio del porcentaje de supervivencia de plántulas a los 35 días después de la siembra en invernadero (datos reales y transformados a logaritmos natural)**

Variedad	Dosis de radiación	%Sup. a los 35 DDS		Variedad	Dosis de radiación	%Sup. a los 35 DDS	
		Real	Ln			Real	Ln
Real blanca	0	61,7	4,12	Real negra	0	91,5	4,51
	100	66,7	4,20		100	78,7	4,36
	200	30,7	3,42		200	67,7	4,21
	300	9,7	2,27		300	4	1,38
Pasankalla	0	68,7	4,23	Pandela tardía	0	58,2	4,06
	100	76,7	4,34		100	51,2	3,93
	200	36,2	3,59		200	38,7	3,65
	300	10	2,30		300	6,2	1,83
Puñete blanco	0	52	3,95	Pandela precoz	0	57,7	4,05
	100	51,7	3,94		100	44	3,78
	200	40,2	3,69		200	38,2	3,64
	300	10	2,30		300	5,7	1,74

**Anexo 9. Promedio del porcentaje de plantas con hojas verdaderas a los 15 días después de la siembra (dds) en invernadero.**

Variedad	Dosis	% de plantas con hv a los 15 dds	Variedad	Dosis	% de plantas con hv a los 15 dds
Real blanca	0	50	Real negra	0	90,5
	100	43,75		100	80
	200	0		200	20
	300	0		300	0
Pasankalla	0	80	Pandela tardía	0	59,25
	100	59,75		100	13,37
	200	20		200	23,25
	300	0		300	3,32
Puñete blanco	0	50	Pandela precoz	0	69,5
	100	66,15		100	50
	200	3,32		200	16,75
	300	0		300	0

**Anexo 10. Promedio de la altura de planta a los 75 días después de la siembra (dds)  
(datos reales y transformadas con la raíz cuadrada).**

Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta a los 75 dds		Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta a los 75 dds	
		Real	$\sqrt{X}$			Real	$\sqrt{X}$
Real blanca	0	38,8	6,23	Real negra	0	44,2	6,65
	100	31,3	5,6		100	31,5	5,61
	200	26,1	5,11		200	15,4	3,92
	300	5,5	2,35		300	2,88	1,7
Pasankalla	0	41,2	6,42	Pandela tardía	0	50,1	7,07
	100	50,3	7,09		100	21,4	4,62
	200	12,4	2,19		200	14,3	3,78
	300	4,81	2,194		300	5,56	2,36
Puñete blanco	0	44,1	6,64	Pandela precoz	0	38,8	6,22
	100	31,5	5,61		100	31,1	5,58
	200	13,5	3,67		200	16,2	4,03
	300	3,53	1,88		300	5,94	2,44

**Anexo 11. Promedio de la altura de planta a los 15 días después de la siembra (dds)  
(datos reales y transformados con la raíz cuadrada)**

Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta a los 15 DDS.		Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta a los 15 DDS.	
		Real	$\sqrt{X}$			Real	$\sqrt{X}$
Real blanca	0	4,63	2,15	Real negra	0	5,3	2,3
	100	4,24	2,06		100	4,39	2,09
	200	3,06	1,75		200	3,98	1,99
	300	13,8	3,71		300	4,4	2,1
Pasankalla	0	4,29	2,07	Pandela tardía	0	5,17	2,27
	100	3,79	1,95		100	3,27	1,93
	200	5,4	2,32		200	4,75	2,18
	300	2,93	1,71		300	4,41	2,1
Puñete blanco	0	5,86	2,42	Pandela precoz	0	4,41	2,1
	100	4,82	2,2		100	3,97	1,99
	200	3,37	1,84		200	3,34	1,83
	300	4,31	2,07		300	3,25	1,8

**Anexo 12. Promedio del porcentaje de hojas quebradas y deformes a los 50, 75, 90 días después de la siembra. (Invernadero)**

Variedad	Dosis de radiación	% de hojas quebradas			Variedad	Dosis de radiación	% de hojas quebradas		
		15dds	50 dds	90 dds				50 dds	90 dds
Real blanca	100		71,4	78,2	Real negra	100		44,8	48
	200		79,2	84,6		200		83	90
	300		84,6	72,4		300		0	0
Pasankalla	100		66,9	79	Pandela Tardía	100		74,4	74
	200		94,8	69,7		200		65,5	95
	300		49,8	93,8		300		52,6	72
Puñete blanco	100		51,1	67,4	Pandela precoz	100		59	92
	200		49,2	87,8		200		76,6	75
	300		53,8	93,8		300		77,9	81

**Anexo 13. Promedio del porcentaje de plantas que no formaron fruto (datos reales multiplicados por 10 y transformados a logaritmo natural).**

Variedad	Dosis de radiación	%Plantas que no formaron fruto			Variedad	Dosis de radiación	%Plantas que no formaron fruto		
		Real	x10	Ln			Real	x10	Ln
Real blanca	0	0	0	0	Real negra	0	0	0	
	100	13,41	134	4,9		100	4,04	404	6,001
	200	20,28	203	5,31		200	13,7	137	4,92
	300	19,54	195	5,27		300	0,67	6,7	1,902
Pasankalla	0	0	0	0	Pandela Tardía	0	0	0	
	100	3,685	369	5,91		100	8,71	87,1	4,467
	200	9,46	94,6	4,55		200	4,08	40,8	3,709
	300	17,38	174	5,16		300	19,5	195	5,273
Puñete blanco	0	0	0	0	Pandela precoz	0	0	0	
	100	1,515	15,2	2,72		100	0,88	8,8	2,175
	200	19,4	194	5,27		200	0,33	3,3	1,194
	300	48,02	480	6,17		300	0	0	0

**Anexo 14. Promedio del porcentaje de plantas con la panoja anormal.**

Variedad	Dosis de radiación	% de plantas con la panoja anormal	Variedad	Dosis de radiación	% de plantas con la panoja anormal
Real blanca	0	0	Real negra	0	0
	100	13,92		100	3,914
	200	25,38		200	53,83
	300	0,35		300	0,21
Pasankalla	0	0	Pandela tardía	0	0
	100	8,20		100	21,00
	200	74,76		200	16,98
	300	49,22		300	0,191
Puñete blanco	0	0	Pandela precoz	0	0
	100	10,90		100	10,95
	200	34,94		200	99,09
	300	0,12		300	0,116

**Anexo 15. Promedio del porcentaje de plantas con la panoja vacía.**

Variedad	Dosis de radiación	% de plantas con la panoja vacía	Variedad	Dosis de radiación	% de plantas con la panoja vacía
Real blanca	0	0	Real negra	0	0
	100	15,93		100	3,903
	200	26,11		200	31,1
	300	0,245		300	0,21
Pasankalla	0	0	Pandela tardía	0	0
	100	10,68		100	11,85
	200	24,77		200	43,09
	300	48,37		300	19,83
Puñete blanco	0	0	Pandela precoz	0	0
	100	21,83		100	6,997
	200	21,02		200	29,29
	300	0,186		300	24,74

**Anexo 16. Promedio de la altura de planta después de la cosecha.**

Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta	Variedad	Dosis de radiación	Altura de planta
Real blanca	0	75,3	Real negra	0	76,6
	100	64,7		100	80,3
	200	44,7		200	46,8
	300	18,0		300	0,0
Pasankalla	0	80,7	Pandela tardía	0	76,4
	100	72,2		100	62,0
	200	44,2		200	58,1
	300	25,7		300	30,6
Puñete blanco	0	86,6	Pandela precoz	0	72,4
	100	70,7		100	67,3
	200	38,6		200	43,3
	300	3,8		300	13,5

**Anexo 17. Promedio de la longitud de raíz después de la cosecha. (Datos reales transformados a logaritmo natural)**

Variedad	Dosis de radiación	Longitud de raíz		Variedad	Dosis de radiación	Longitud de raíz	
		Real	Ln			Real	Ln
Real blanca	0	31,2	3,44	Real negra	0	23,75	3,16
	100	32,7	3,49		100	29,38	3,38
	200	19,9	2,99		200	17,7	2,87
	300	11,8	2,46		300	0	0
Pasankalla	0	38	3,64	Pandela tardía	0	31,02	3,43
	100	32,8	3,49		100	22,59	3,11
	200	23,9	3,17		200	23,82	3,17
	300	14,5	2,67		300	10,75	2,37
Puñete blanco	0	33,1	3,5	Pandela precoz	0	27,74	3,32
	100	26	3,26		100	24,7	3,20
	200	12,5	2,53		200	20,1	3,00
	300	1,45	0,37		300	8	2,07

**Anexo 18. Promedio del peso de grano por panoja (datos reales multiplicados por 10 y transformados a logaritmo natural).**

Variedad	Dosis de radiación	Peso de grano por panoja			Variedad	Dosis de radiación	Peso de grano por panoja		
		Real	X 10	Ln			Real	X 10	Ln
Real blanca	0	3,25	32	3,47	Real negra	0	3,353	33,5	3,51
	100	3,56	36	3,58		100	3,1	31	3,43
	200	1,58	16	2,77		200	1,56	15,6	2,75
	300	0,69	7	1,95		300	0	0	0
Pasankalla	0	4,61	46	3,83	Pandela tardía	0	4,273	42,7	3,75
	100	3,29	33	3,5		100	2,865	28,7	3,36
	200	1,54	15	2,71		200	1,855	18,6	2,92
	300	0,55	5	1,61		300	0,85	8,5	2,14
Puñete blanco	0	4,28	43	3,76	Pandela precoz	0	4,398	44	3,78
	100	3,69	37	3,61		100	3,195	32	3,47
	200	0,83	8	2,08		200	1,135	11,4	2,43
	300	0,25	3	1,1		300	0,145	1,5	0,41

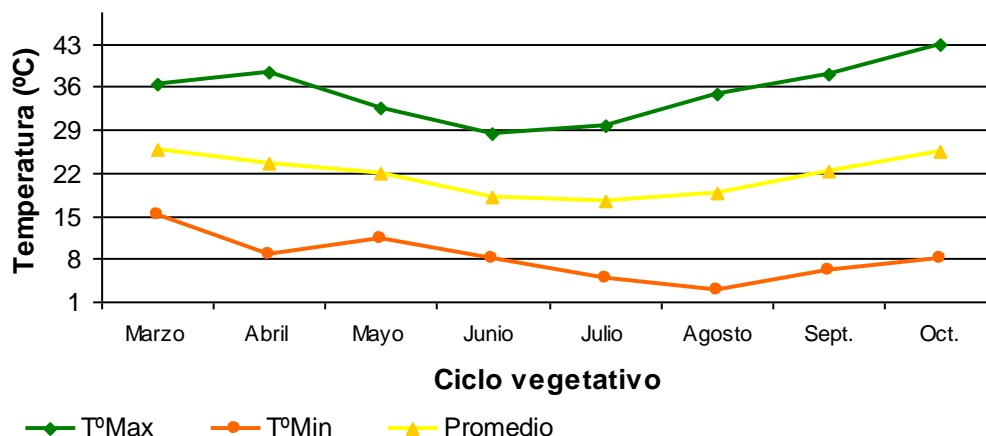
**Anexo 19. Promedio del porcentaje de supervivencia de plantas antes de la cosecha. (Datos reales y transformados a logaritmo natural).**

Variedad	Dosis de radiación	%supervivencia antes de la cosecha		Variedad	Dosis de radiación	%supervivencia antes de la cosecha	
		Real	Ln			Real	Ln
Real blanca	0	56	4,025	Real negra	0	89,4	4,5
	100	66,5	4,197		100	83,3325	4,4
	200	23,75	3,168		200	60,0825	4,1
	300	10,9	2,389		300	0	0
Pasankalla	0	65,65	4,184	Pandela tardía	0	50,3	3,9
	100	78,4	4,362		100	37,25	3,6
	200	43,325	3,769		200	25,075	3,2
	300	5,4	1,686		300	7,575	2
Puñete blanco	0	43,1	3,764	Pandela precoz	0	62,4	4,1
	100	48,75	3,887		100	51,175	3,9
	200	17,325	2,852		200	29,825	3,4
	300	2,075	0,73		300	4,65	1,5

**Anexo 20. Promedio días a la cosecha.**

Variedad	Dosis de radiación	Días a la cosecha	Variedad	Dosis de radiación	Días a la cosecha
Real blanca	0	132	Real negra	0	138
	100	145,25		100	138,5
	200	172		200	165,25
	300	172,75		300	60,75
Pasankalla	0	167,25	Pandela tardía	0	163,5
	100	154		100	166
	200	181,25		200	183,25
	300	174,25		300	168,25
Puñete blanco	0	152	Pandela precoz	0	144,25
	100	150		100	145,75
	200	181		200	181
	300	172,75		300	141,75

**Anexo 21. Temperatura máxima, media y mínima registrada durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua en ambiente controlado**



Anexo 21, muestra los datos registrados de las variaciones de temperatura diarias máximas, medias y mínimas, registradas durante el ciclo vegetativo del cultivo, donde la temperatura mas alta extrema fue 38.49°C, en el mes de abril y con respecto a la temperatura mínima mas baja fue 2.97°C, se registro en el mes de agosto.

**Anexo 22. Ejemplares de quinua de los cuatro tratamientos de las variedades Real blanca y Pasankalla en estado de floración.**





**Anexo 23. Ejemplares de quinua de las variedades Puñete blanco y Real negra de los cuatro tratamientos en estado de floración.**



**Anexo 24. Ejemplares de quinua de las variedades Pandela tardía y Pandela precoz de los cuatro tratamientos en estado de floración.**



## Anexo 25. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Real blanca.

### Variedad de Quinua: Real Blanca

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde hasta la madurez.

Color de tallo: verde

Tipo de panoja: Glomerulada

Altura de la planta: 87cm.

Habito de crecimiento: ramas presentes en el tallo.

Diámetro de tallo: 0.61 cm.

Forma de la hoja: Triangular

Longitud de la lamina (H): 7.28 cm.

Ancho de lamina (H): 6.04 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 133 días

Días Panojamiento: 58 días

Días a la floración: 77 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Perla

Tamaño: Mediano

Uniformidad de color del grano: Bastante uniforme

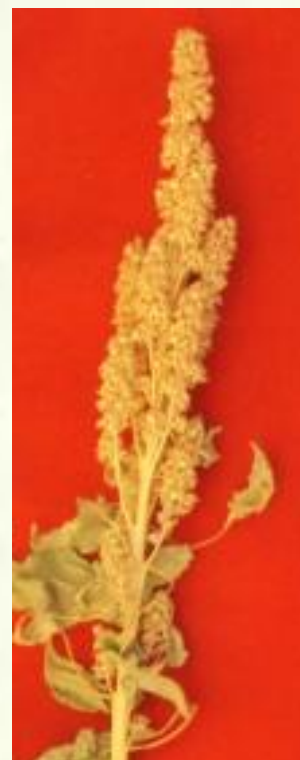
Diámetro: 0.21 cm.

Espesor: 0.08mm

Peso de 100 granos: 0.43 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 3.55g.





## Anexo 26. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pasankalla.

### Variedad de Quinua: Pasankalla

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde hasta la madurez.

Color de tallo: verde

Tipo de panoja: Amarantiforme

Altura de la planta: 68 cm.

Habito de crecimiento: Sin ramificación.

Diámetro de tallo: 0.87 cm.

Forma de la hoja: Romboidal

Longitud de la lamina (H): 7.7 cm.

Ancho de lamina (H): 5.9 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 168 días

Días Panojamiento: 69 días

Días a la floración: 77 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Café.

Tamaño: Pequeño

Uniformidad de color del grano: Algunos granos diferentes

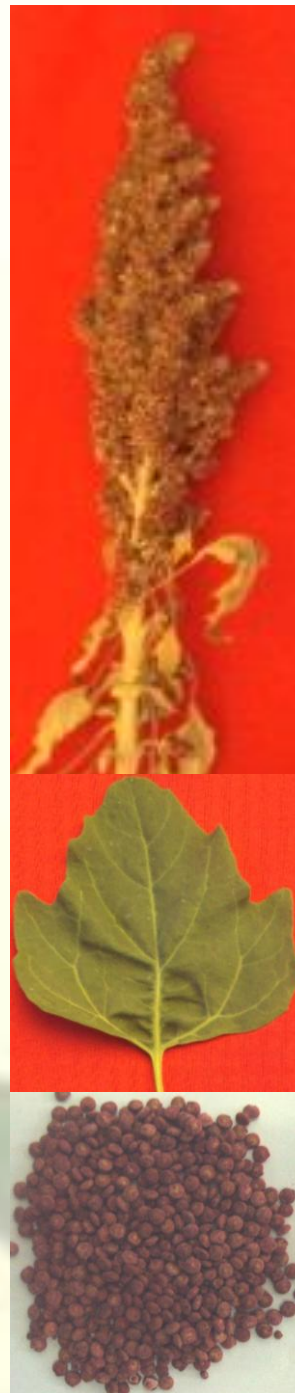
Diámetro: 0.18 cm.

Espesor: 0.09mm

Peso de 100 granos: 0.35 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 6.42g.



## Anexo 27. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Puñete blanco.

### Variedad de Quinua: Puñete Blanco

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde antes de la madurez, blanco cremoso a la madurez.

Color de tallo: Verde claro

Tipo de panoja: Glomerulada

Altura de la planta: 57cm.

Habito de crecimiento: Sin ramificación .

Diámetro de tallo: 0.68 cm.

Forma de la hoja: Romboidal

Longitud de la lamina (H): 5.46 cm.

Ancho de lamina (H): 4.94 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 154 días

Días Panojamiento: 61 días

Días a la floración: 99 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Crema suave.

Tamaño: Pequeño

Uniformidad de color del grano: Bastante uniforme

Diámetro: 0.20 cm.

Espesor: 0.09mm

Peso de 100 granos: 0.30 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 4.9g.



## Anexo 28. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Real Negra.

### Variedad de Quinua: Real Negra

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde antes de la floración, y café hasta la madures..

Color de tallo: Verde con estrías amarillas.

Tipo de panoja: Glomerulada

Altura de la planta: 51cm.

Habito de crecimiento: Sin ramificación .

Díámetro de tallo: 0.52 cm.

Forma de la hoja: Triangular

Longitud de la lamina (H): 6.0 cm.

Ancho de lamina (H): 4.8 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 139 días

Días Panojamiento: 64 días

Días a la floración: 85 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Negro.

Tamaño: Pequeño

Uniformidad de color del grano: Bastante uniforme

Díámetro: 0.19 cm.

Espesor: 0.0077mm

Peso de 100 granos: 0.28 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 4.14g.





## Anexo 29. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pandela tardía.

### Variedad de Quinua: Pandela Tardía

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde antes de la madurez, rosada a la madurez.

Color de tallo: Verde con estrías rosadas.

Tipo de panoja: Glomerulada

Altura de la planta: 61 cm.

Habito de crecimiento: Ramificación moderada en el tallo.

Diámetro de tallo: 0.55 cm.

Forma de la hoja: Triangular.

Longitud de la lamina (H): 6.8 cm.

Ancho de lamina (H): 5.34 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 164 días

Días Panojamiento: 61 días

Días a la floración: 90 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Rosado perlado.

Tamaño: Mediano

Uniformidad de color del grano: Poco uniforme

Diámetro: 0.22 cm.

Espesor: 0.10 mm.

Peso de 100 granos: 0.43 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 5.13g.



## Anexo 30. Descripción morfológica y agronómica de la variedad Pandela precoz.

### Variedad de Quinua: Pandela precoz

#### Características Morfológicas

Color de la planta: verde y a la madurez crema.

Color de tallo: Verde.

Tipo de panoja: Glomerulada

Altura de la planta: 69 cm.

Habito de crecimiento: Ramas presentes en el tallo.

Diámetro de tallo: 0.62 cm.

Forma de la hoja: Romboidal.

Longitud de la lamina (H): 4.9 cm.

Ancho de lamina (H): 5.34 cm.

#### Características Agronómicas

Ciclo de la variedad: 146 días

Días Panojamiento: 58 días

Días a la floración: 77 días

#### Características del Grano

Color a la madurez fisiológica: Blanco Rosa.

Tamaño: Mediano

Uniformidad de color del grano: Poco uniforme

Diámetro: 0.21 cm.

Espesor: 0.12 mm.

Peso de 100 granos: 0.42 g.

#### Rendimiento

Peso promedio de 10 plantas: 3.69 g.

