

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



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE TRIGO
(*Triticum aestivum* L.), EN LA GENERACIÓN M2 PROVENIENTES DE SEMILLA
IRRADIADA CON RAYOS GAMMA (CO-60).

NORA MAMANI CONDORI

LA PAZ – BOLIVIA

2016

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

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.), EN LA
GENERACIÓN M2 PROVENIENTES DE SEMILLA IRRADIADA CON RAYOS GAMMA (CO-60).**

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

NORA MAMANI CONDORI

Asesores:

Ing. Rafael Murillo García

Ing. Edgar Gómez Villalba

Ing. M. Sc. Juan José Vicente Rojas

Tribunal Examinador:

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

Ing. M. Sc. Wilfredo Blanco Villacorta

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador:

2016

DEDICATORIA

Con todo cariño a Dios por mostrarme el camino correcto y otorgarme una carrera profesional.

A mis padres Félix Mamani Ortega y Esperanza Condori Mamani con todo cariño por brindarme todo su apoyo, sacrificio, paciencia y confianza en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi fuente de inspiración y mi gran fortaleza en mi vida quien me da la fuerza y voluntad para seguir adelante en todo momento.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía y la Carrera de Ingeniería agronómica por la formación profesional, a los Docentes y auxiliares por haber impartido sus valiosos conocimientos.

Al Instituto Boliviano de Tecnología de Energía Nuclear (IBTEN) por abrirme las puertas y brindarme todo el apoyo necesario para la investigación.

Mis más sinceros agradecimientos a mis asesores: Ing. Rafael Murillo García, Ing. Edgar Gómez Villalba y al Ing. M. Sc. Juan José Vicente Rojas por el apoyo, la orientación y colaboración desinteresada en toda la elaboración del presente trabajo.

Al miembro tribunal revisor

Mis más sinceros agradecimientos al tribunal revisor: Ing. Williams Alex Murillo Oporto y al Ing. M. Sc. Wilfredo Blanco Villacorta por sus observaciones, orientación, sugerencias, recomendaciones y tiempo empleado para la mejora de este documento final.

Mi más sincero agradecimiento a la Ing. María Teresa Aguilar Quisbert por brindarme su amistad y todo su apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado en “Centro de Investigaciones Nucleares” (CIAN) dependiente del “Instituto Boliviano de Ciencia y tecnología Nuclear” (IBTEN) situada a 30 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente se encuentra entre las siguientes coordenadas 16° 39'30" latitud sur y 68° 18'55" longitud oeste del meridiano de Greenwich a una altitud de 3850 m.s.n.m. Es una región del Altiplano boliviano posee un clima frío y seco con una temperatura máxima de 16,8°C y temperatura mínima de 0,9°C con presencia de heladas de 175 días durante todo el año.

El presente estudio titulado: Evaluar las características morfológicas de trigo (*triticum aestivum* L.), en la generación M2 provenientes de semilla irradiada con rayos gamma (co-60) se realizó durante la campaña agrícola 2015 – 2016.

Las variables de respuestas fueron: porcentaje de germinación, días a la emergencia, altura de las plantas, número de espigas por planta, días al espigamiento, longitud de la espiga, número de granos por espiga, días a la cosecha, rendimiento, peso de 1000 semillas y la descripción de individuos a cambios morfológicos por efecto de las irradiaciones. El modelo estadístico que se aplicó en laboratorio fue un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. En campo se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres tratamientos y tres bloques.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias entre los tratamientos aplicados donde las semillas de la generación M2 con la dosis de 100 Gy presentaron características favorables en rendimiento, en altura y en el peso de mil semillas también se presentaron cambios en las espigas como ser: la ausencia de las aristas, el incremento de la altura, hojas enrolladas y espigas con mayor longitud.

Mientras que para una dosis 200 Gy presentaron una reducción en los días a la madurez fisiológica, también se presentaron modificaciones en las hojas como ser el enrollamiento y una reducción en la altura de algunas plantas en los diferentes bloques, las cuales se seleccionaron todas aquellas plantas que presentaron diferentes características con respecto al tratamiento testigo.

SUMMARY

The present study was realized in "Center of Nuclear Investigations" (CYAN) dependent on the "Bolivian Institute of Science and Nuclear technology" (IBTEN) placed to 30 km from the city of La Paz. Geographically length is between the following coordinate's $16^{\circ} 39'30''$ south latitude and $68^{\circ} 18'55''$ west of the meridian of Greenwich to an altitude of 3850 m.s.n.m. It is a region of the Bolivian Altiplane possesses a cold and dry climate with a maximum temperature of $16,8^{\circ}\text{C}$ and minimal temperature of $0,9^{\circ}\text{C}$ with presence of frosts of 175 days all the year round. I.

The present qualified study: To evaluate the morphologic characteristics of wheat (*triticum aestivum* L.) in the generation M2 from seed radiated with beams gamma (co-60) carried out during the agricultural campaign 2015 - 2016.

The variables of answers were: percentage of germination, days to the emergency, height of the plants, number of spikes for plant, days to the espigamiento, length of the spike, number of grains for spike, days to the crop, performance, weight of 1000 seeds and the description of individuals to morphologic changes for effect of the irradiations. The statistical model who applied himself in laboratory was a design completely at random with three treatments and three repetitions. In field a design of blocks was in use completely at random with three treatments and three blocks.

The obtained results showed differences between the applied treatments where the seeds of the generation M2 with the dose of 100 Gy presented favorable characteristics in performance, in height and in the weight of thousand seeds also they presented changes in the spikes as being: the absence of the edges, the increase of the height, coiled leaves and you come into ear with major length.

Whereas for a dose 200 Gy they presented a reduction in the days to the physiological maturity, also they presented modifications in the leaves as being the rolling and a reduction in the height of some plants in the different blocks, which selected all those plants that presented different characteristics with regard to the treatment witness.

ÍNDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Importancia del cultivo	4
3.2. Origen del cultivo	4
3.3. Clasificación taxonómica	5
3.3.1. Descripción botánica	5
3.3.2. Fases fenológicas	6
3.4. Composición química del cultivo de trigo	8
3.5. Rendimiento	9
3.6. Requerimientos climáticos	10
3.7. Mutaciones	10
3.7.1. Mejoramiento genético por mutaciones	11
3.7.2. Agentes mutagénicos	13
3.7.3. Rayos gamma	13
3.8. Efecto de la radiación en plantas tratadas con Cobalto 60	14
3.8.1. Mutaciones morfológicas (a nivel génico o cromosómico)	14
3.8.2. Hormesis	15
4. LOCALIZACIÓN	17
4.1. Descripción del clima	17
4.2. Suelo	18

5. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Materiales	18
5.1.1. Material vegetal.....	18
5.1.2. Material de laboratorio	18
5.1.3. Material de campo	19
5.1.4. Material de gabinete	19
5.2. Metodología	19
5.2.1. Procedimiento experimental.....	19
5.2.1.1. En la generación M1	19
5.2.1.1.1. Trabajo en laboratorio	20
5.2.1.1.2. Trabajo en campo	20
5.2.1.2. En la generación M2	20
5.2.1.2.1. Trabajo en laboratorio.....	20
5.2.1.2.2. Trabajo en campo	21
5.2.2. Diseño Experimental	23
5.2.2.1. Etapa germinación	23
5.2.2.2. Etapa de campo.....	23
5.2.3. Variables de Respuesta	25
5.2.3.1. Variables en laboratorio	25
5.2.3.1.1. Porcentaje de germinación	25
5.2.3.2. Variables de crecimiento y desarrollo en campo	26
5.2.3.2.1. Días a la emergencia	26
5.2.3.2.2. Altura de la planta	26
5.2.3.2.3. Número de espigas por planta	26
5.2.3.2.4. Días a espigamiento	26
5.2.3.3. Variables a la cosecha	26
5.2.3.3.1. Longitud de la espiga	26
5.2.3.3.2. Número de granos por espiga.....	27

5.2.3.4. Variables fenológicas	27
5.2.3.4.1. Días a la cosecha	27
5.2.3.5. Rendimientos del grano en Kilogramos.....	27
5.2.3.6. Peso de 1000 semillas en gramos	27
5.2.3.7. Descripción de individuos a modificaciones morfológicas por efecto de las irradiaciones	27
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
6.1. Variable en laboratorio	28
6.1.1. Porcentaje de germinación	28
6.2. Variables de crecimiento y desarrollo en campo	30
6.2.1. Días a la emergencia	30
6.2.2. Altura de la planta.....	32
6.2.3. Número de espigas por planta	34
6.2.4. Días al espigamiento	36
6.3. Variables a la cosecha	39
6.3.1. Longitud de la espiga.....	39
6.3.2. Número de granos por espiga.....	41
6.4. Variables fenológicas.....	43
6.4.1. Días a la cosecha	43
6.5. Rendimiento de grano de trigo	45
6.7. Peso de 1000 semillas (g).....	47
6.8. Descripción de individuos a modificaciones morfológicas por efecto de las irradiaciones	49
7. CONCLUSIONES	55
8. RECOMENDACIONES	57
9. BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. composición química del cultivo de trigo en porcentajes.....	9
Cuadro 2. análisis de varianza del porcentaje de germinación para el cultivo de trigo.....	28
Cuadro 3. análisis de varianza para la variable de días a la emergencia para el cultivo de trigo.....	31
Cuadro 4. análisis de varianza para la variable altura de la planta	32
Cuadro 5. análisis de varianza para el número de espiga por planta	34
Cuadro 6. análisis de varianza para el de número de días al espigamiento	37
Cuadro 7. análisis de varianza para la longitud de la espiga	39
Cuadro 8. análisis de varianza para el número de granos por espiga	41
Cuadro 9. análisis de varianza para la variable de días a la cosecha.....	43
Cuadro 10. análisis de varianza para el rendimiento	45
Cuadro 11. análisis de varianza para el peso de 1000 semillas (g)	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfico 1. Porcentaje de germinación a partir de semillas de diferentes tratamientos de irradiación. Las diferencias entre tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	29
Gráfico 2. Comparación de medias para la altura de planta, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	32
Gráfico 3. Comparación de medias para el número de espigas por planta, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	35
Gráfico 4. Comparación de medias para el número de días al espigamiento, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	37
Gráfico 5. Comparación de medias para la longitud de la espiga, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	40
Gráfico 6. Comparación de medias para el número granos por espiga, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	42
Gráfico 7. Comparación de medias para el número de días la cosecha, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	44
Gráfico 8. Comparación de medias para el rendimiento, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	46
Gráfico 9. Comparación de medias para el peso de 1000 semillas, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).	48

Gráfico 10. Plantas mutantes y plantas del tratamiento testigo, (N ^o E = número espigas, LE = longitud de la espiga, N ^o GE= número de granos por espiga y P= peso de mil semillas).....	52
Gráfico 11. Número de plantas precoces	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Espiga de cebada normal a la izquierda y a la derecha, espigas mutantes obtenido por irradiación.....	15
Figura 2. Ubicación del centro de investigaciones nucleares (CIAN).....	17
Figura 3. Cosecha del trigo en el lado derecho muestra las espigas sin arista y en el lado izquierdo muestra las plantas con espigas normales.....	22
Figura 4. Etapa de emergencia	30
Figura 5. Plantas con formación de espigas.....	36
Figura 6. Longitud de la espiga	39
Figura 7. Altura de planta	49
Figura 8. Hoja enrollada del cultivo de trigo generación M2.	50
Figura 9. Decoloración de la hoja.....	51
Figura 10. Hoja quebrada en los extremos.....	51
Figura 11. A) Espiga con arista y B) espiga sin arista de la dosis de 100 Gy	53
Figura 12. Espiga con entrenudo largo	53

1. INTRODUCCIÓN

Entre los cereales, el trigo está considerado como el cultivo más noble y alimento base de alto valor nutritivo, debido a su composición química en cuanto a la relación de proteína y almidón, al cuál con solo añadirle materia grasa llega a establecer un alimento completo (CIMMYT 1991).

En el altiplano central y norte, por sus características climáticas manifiesta serias limitaciones para la agricultura, principalmente por la presencia de heladas y sequías, pese a ello en estas zonas se cultivan varias especies entre ellas el trigo.

En Bolivia el trigo (*Triticum aestivum* L.) es de mucha importancia, ya que forma parte de la alimentación diaria de los pobladores, es actualmente el tercer cultivo más importante en el mundo y se cultiva para consumo humano. En nuestro país la producción de trigo cubre el 50 – 56% de la demanda Nacional, por consiguiente se debe realizar esfuerzos para obtener mejores variedades.

Actualmente se trabaja con mejoramiento genético que reduzca los tiempos del ciclo vegetativo, plantas resistentes a la sequía, plantas resistentes a enfermedades, plantas resistentes a plagas, plantas resistentes a las heladas y también se usa técnicas convencionales (cruzamientos entre otros) y las no convencionales (mutaciones inducidas, transgénesis entre otros).

La utilización de mutaciones inducidas; por medio de la irradiación en el fitomejoramiento de trigo constituye una alternativa viable dado que esta posibilita la obtención de algunos mutantes que conserven o superen las características de rendimiento, resistencia a cambios climáticos y resistencia a enfermedades.

La inducción de mutaciones es un instrumento valioso para alterar los genes, pues crea variabilidad genética no existe en la naturaleza o que aparezca en ella ligada a genes indeseables, y posibilita la obtención de nuevas variedades (Millán, 2002).

La inducción de mutaciones ha sido ampliamente empleada en el mundo para la mejora genética de plantas; sin embargo en los últimos años su empleo ha cobrado mayor fuerza, a partir de los resultados en diferentes cultivos. En Cuba se ha empleado la inducción de mutaciones con muy buenos resultados en los programas de mejoramiento genético de arroz, soya, caña de azúcar y tomate a partir de las cuales se han registrado un grupo de variedades de importancia (Gonzales *et al.* 2009).

En los últimos 30 años, más de 1800 cultivares de plantas con atributos significativamente mejorados, como el aumento en la producción, mejor calidad, mayor resistencia a enfermedades y a sequía. Se han obtenido por medio de mutaciones (Brunner, 1995).

Se han realizado diversos estudios en inducción de mutaciones para obtener variedades en cereales. Por ejemplo, en la cebada se estudiaron los efectos de la radiación gamma en el desarrollo de este cereal y observaron diversas modificaciones en la planta. También se realizaron estudios en trigo, de igual forma encontraron modificaciones en las características morfológicas y agronómicas (González y Gómez, 2005).

El presente estudio realizado permite contribuir al mejoramiento de trigo, seleccionando plantas con características agronómicas favorables para la producción, de esta manera seleccionar genotipos de trigo con un mejor rendimiento y adaptabilidad a las condiciones del Altiplano Boliviano.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar las características morfológicas de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la generación M2 en condiciones de campo a partir de semillas irradiadas con dos dosis de rayos gamma (CO-60).

2.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar a las plantas en base a las modificaciones morfológicas en la población (M2) del cultivo de trigo.
- Evaluar el comportamiento agronómico del cultivo de trigo a partir de semillas provenientes de irradiación con rayos gamma (Co-60).
- Comparar el rendimiento de trigo al final del ciclo vegetativo a partir de las semillas provenientes de irradiación.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Importancia del cultivo

García (2005) señala que el trigo (*Triticum*) es un cereal de la familia de las gramíneas cuyo centro de domesticación fue el actual Medio Oriente y que ocurrió a principios del Neolítico a partir de este punto en el tiempo, el cultivo rápidamente se impuso en Europa, África y el Asia, usando como carta de presentación su valor nutritivo y sus cualidades asociadas a su alto contenido de gluten con relación a otros cereales.

El trigo (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; pero el trigo que se cultiva es de la variedad *Triticum aestivum* son plantas anuales de la familia de las gramíneas. El trigo (de color amarillo) es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. (ANAPO, 2008).

Andrade (1999) da a conocer que el trigo es el cereal cultivado más importante del mundo, su importancia se deriva de las propiedades físicas y químicas del gluten, que permiten la producción de una hogaza de pan de buen volumen. Además de su uso para la fabricación del pan, se utiliza grandes cantidades de trigo para pastelería y sémolas.

3.2. Origen del cultivo

Rimache (2008) da a conocer que el origen actual del trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Eufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar.

López (1991) señala que el trigo es cultivado desde el comienzo de la agricultura. No se conoce con precisión donde y cuando el trigo se originó, tal y como lo conocemos hoy. La individualización del centro de origen no resulta nada fácil por la mezcla de individuos silvestres afines con tipos de características intermedias, entre la especie cultivada y otras gramíneas morfológicamente similares. Los estudios realizados por De Candolle indican que el trigo es originario de Mesopotamia, mientras que Vavilov afirma que las especies del género *Triticum* han tenido su centro de diferenciación en Turquía, Afganistán e India.

Milton (1986) señala que el origen del trigo es parte del suroeste de Asia ya era el trigo una cosecha importante desde los primeros registros históricos. Se cultivaba en Grecia, en Persia, en Egipto, y en toda Europa, desde los tiempos prehistóricos. El trigo fue introducido a los Estados Unidos por los primeros colonizadores a lo largo de las costas orientales.

3.3. Clasificación taxonómica

De acuerdo a Villar (2012) la clasificación taxonómica del cultivo de trigo es la siguiente:

Clase	: <i>Liliopsida</i>
Orden	: <i>Poales</i>
Familia	: <i>Poaceae</i>
Género	: <i>Triticum</i>
Especie	: <i>aestivum</i> L.

3.3.1. Descripción botánica

Villar (2012) realiza la descripción botánica del trigo como sigue:

Raíz: el trigo posee una raíz de tipo fibroso. Suelen alcanzar más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm. El crecimiento de las raíces

comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas, el desarrollo de las raíces se considera completo al final del “encañado”.

Tallo: el tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, es poco ramificado al comienzo de la fase vegetativa, el tallo se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de ahijamiento. Este tallo presenta brotes axilares, de los que se originan los tallos hijos.

Hojas: las hojas del trigo tienen una forma linear lanceolada (largadas, rectas y terminadas en punta), con vaina, lígula y aurículas bien definidas.

Inflorescencia: es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores.

Flor: consta de un pistilo y tres estambres. Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.

Fruto: los granos (frutos) son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados.

3.3.2. Fases fenológicas

La aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se llama fase. La germinación de las plantas pequeñas, el espigamiento del trigo, la maduración del trigo, son verdaderas fases fenológicas las mismas que están atribuidas al espacio de tiempo que requieran los vegetales para alcanzar la evolución de sus distintas fases vegetativas (Mariscal, 1992).

Rimache (2008) menciona que durante el ciclo vegetativo de la planta sufre diferentes cambios entre la emergencia, crecimiento y maduración de la planta. El ciclo vegetativo consta desde la siembra hasta la cosecha, es de aproximadamente de 155 días a 170

días de las variedades de ciclo largo y de 125 días a 150 días de las variedades de ciclo corto.

El mismo autor describe a continuación las fases vegetativas de las plantas como ser: emergencia, estado de macollaje, encañado, hoja bandera, estado de bota, emergencia de la espiga y floración.

Emergencia: Es la aparición de los primeros tejidos de la planta sobre la superficie del suelo con una a dos hojas.

Estado macollaje: el macollado comienza cuando el trigo tiene tres a cuatro hojas, si ocurre en otoño el nacimiento de “hijos” y el crecimiento de las hojas se paraliza con las bajas temperaturas, pero como la tierra sigue caliente varios días, las raíces siguen creciendo y profundizando si el terreno es penetrable; durante el frío del invierno se paraliza toda la actividad vegetativa, después del frío sigue amacollando el trigo, hasta que alcanza mayores temperaturas comienza a encañar.

Encañado: tiene lugar una vez que comienzan a elevarse las temperaturas, los nudos pierden la facultad de emitir hijos y comienzan a alargarse los entre nudos del tallo. El encañado consiste, por tanto, en el crecimiento del tallo por alargamiento de los entre nudos. La caña sigue alargándose durante el espigado y hasta el final de la madurez, alcanzando longitudes diferentes según las variedades. La altura del tallo no tiene relación con la producción de grano, pero sí con la de paja, que es mayor en variedades altas.

Hoja bandera: Este estadio de crecimiento comienza cuando la última hoja (hoja bandera) empieza a emerger. La hoja bandera es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que efectivamente contribuye al llenado del grano. Cuando emerge la hoja bandera al menos hay tres nudos visibles sobre la superficie; ocasionalmente se puede observar un cuarto nudo.

Estado de bota: La espiga, totalmente desarrollada, se visualiza fácilmente en la porción hinchada de la vaina foliar por debajo de la hoja bandera.

Emergencia de la espiga: Aristas visibles, espiga emergiendo entre la vaina de la hoja bandera.

Floración: La floración implica la aparición de las anteras más allá de las espigas, después de que la fertilización ha sucedido dentro. La floración en una planta de trigo dura pocos días.

Maduración: El período de llenado de grano varía de acuerdo al clima. Típicamente es de 30 días en ambientes con estrés severo; y puede exceder los 50 días en ambientes de alto rendimiento y sin estrés (Miller, 1992).

- **Grano lechoso:** El estado grano lechoso es cuando al presionar el grano se observa un líquido blanquecino pero las envolturas están formadas y el tamaño potencial del mismo, determinado.
- **Grano pastoso:** es cuando este comienza a perder su tonalidad verdosa, se amarillea y adquiere consistencia pastosa o granulosa en su endosperma.
- **Grano duro:** es cuando presionado el grano fuertemente con una uña, no se rompe pero se marca.
- **Grano maduro:** es cuando presenta color amarillento o tostado y no se aplasta bajo la presión.

3.4. Composición química del cultivo de trigo

La harina de trigo es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química, y en especial a las proteínas y su capacidad para formar gluten (Gómez, 2007).

El cuadro 1 presenta la composición química del trigo duro expresadas en porcentaje.

Cuadro 1. Composición química del cultivo de trigo en porcentajes

Componentes	Mínimo %	Máximo %
Humedad	8	18
Almidón	60	68
Proteína	7	18
Lípidos	1,5	2
Fibra cruda	2	2,5
Cenizas	1,5	2

Fuente: Gómez (2007)

3.5. Rendimiento

El rendimiento del cultivo del trigo aumento de manera exponencial a nivel mundial en los últimos años debido a la mejora genética de las variedades y a la mejora de las técnicas de manejo del cultivo. El rendimiento se basa en tres parámetros fundamentales como son: número de plantas por unidad de superficie, número de granos por planta y peso del grano, y cuyo producto daría como resultado el rendimiento final del cultivo (Rimache, 2008).

CIAT (1998) da a conocer que el rendimiento en grano tiene mucha importancia ya que determina los ingresos totales del productor. En el rendimiento influyen todas las condiciones ambientales que afecten al crecimiento de la planta así como la herencia de la misma. La capacidad intrínseca de rendimiento puede quedar expresada por características morfológicas de la planta, como el macollamiento, la longitud y densidad de espiga, el número de granos por espiguilla o el tamaño del grano, sin embargo, ninguno de estos componentes físicos puede considerarse como índice de rendimiento, el rendimiento de una variedad se mide en kg o en hectolitro por ha.

3.6. Requerimientos climáticos

La temperatura base para el cultivo de trigo es de 0 a 5°C y el promedio óptimo está entre 20 a 25°C, es una planta de día largo, con respuesta cuantitativa al fotoperiodo y la mayor parte de las variedades de invierno requieren un periodo de vernalización (Palacio, 2006).

Carretero *et al.* (2007) mencionan que la temperatura mínima de crecimiento oscila de 3 a 4°C, óptima de 25°C y máxima de 30 a 32°C, además necesita una cantidad de calor para cumplir su ciclo vegetativo y que va de 1900 a 2400°C en trigos de invierno y de 1200 a 1600°C en trigos de primavera. Siendo perjudiciales las temperaturas elevadas en primavera al final de la maduración.

Los mismos autores mencionan que la precipitación que necesitan para el crecimiento de este cultivo es de 500- 600 mm óptimo, pero se desarrollan a partir de los 300 mm, recalcando que son mejores los años de más lluvia en primavera.

3.7. Mutaciones

Gutiérrez *et al.* (2003) mencionan que la mutación es un proceso por el cual los genes pasan de una forma alélica a otra. Se pueden clasificar según su origen y según el tejido que afectan. Aquellas clasificadas según su origen son dos: las espontáneas (errores en la replicación o lesiones) y las inducidas (con agentes mutagénicos físicos o químicos). Según el tejido que afectan, pueden ser somáticas o germinales. El uso de las mutaciones inducidas para mejoramiento es una forma de originar variabilidad genética. No se pueden generar nuevos genes sino nuevas alternativas para los existentes y no pueden ser dirigidas a un gen específico.

Según Mellado (2004) citado por Llanos (2013) indica que las mutaciones son cambios hereditarios repentinos que pueden afectar a los genes, o a los cromosomas. Las mutaciones se pueden producir naturalmente, o bien tratando a las semillas con productos químicos, con rayos X, o con radiaciones de Cobalto.

Rea (1969) señala que la mutación desde el punto de vista fenotípico es la aparición brusca y espontánea de una variación fenotípica de un individuo, la cual se transmite hereditariamente a la progenie, mutación desde el punto de vista genético es cualquier alteración de la secuencia de bases de un segmento de ADN correspondiente a un gen o a un locus (sea éste transcribible o no), aun cuando esta alteración no se refleje en forma de cambio fenotípico observable o detectable.

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

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

Guzmán (1996) define la mutación como:

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

3.7.1. Mejoramiento genético por mutaciones

Según AIEA (International Atomic Energy Agency) (1995) menciona que 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 pueden producir mutaciones favorables en forma experimental. Las semillas son el material adecuado para la irradiación en muchos experimentos de inducción de mutaciones y en el mejoramiento práctico. Las semillas pueden ser

tratadas en muchos ambientes físicos, pueden ser disecadas, humedecidas, calentadas o congeladas, también pueden ser mantenidas por largo tiempo en un ambiente adecuado. Cuando están secas son casi inertes biológicamente y bajo condiciones ambientales severas ellas no sufren suficiente daño biológico.

Según Cubero (2003) señala que la mutación se ha aplicado con éxito para la mejora de varios cultivos. Los métodos de inducción de mutaciones más utilizados son las radiaciones y las no ionizantes como los rayos X, α , β , γ , neutrones, protones y rayos ultravioleta, siendo estos últimos los de mayor eficacia en la inducción de mutaciones. También se han utilizado los choques térmicos como inductores de mutación: sin embargo su principal efecto es producir poliploidia y algunas anomalías fisiológicas.

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

Aguilar *et al.* (2013) indican que las mutaciones inducidas por radiaciones ionizantes se han utilizado en el mejoramiento de trigo, arroz, cebada, algodón, cacahuate, manzanas y frijol; todos estos cultivos propagados por semillas, aunque a últimas fechas hay muchas variedades inducidas a partir de cultivos de tejidos, como la caña de azúcar, plátano y cítricos.

Según Zamudio (2005), citado por Mamani (2012), define que al aplicar genes mutágenos (sustancias químicas o naturales, radiaciones ionizantes, etc.) a los granos, a los brotes jóvenes, a los granos de polen, o aun a las plantas enteras, se pueden obtener variaciones genéticas hereditarias por la vía sexual o transmisibles por multiplicación vegetativa. Las variantes genéticas surgen espontáneamente en la naturaleza y son más frecuentes en ciertas especies.

3.7.2. Agentes mutagénicos

Los agentes artificiales utilizados en mutagénesis clásica pueden dividirse según su naturaleza en dos grandes grupos: físicos o químicos (Prina *et al.* 2010).

- **Químicos**

Los más utilizados con fines prácticos son los denominados los supermutágenos, entre ellos varios agentes alquilantes y la acida sódica, que pueden aumentar varios cientos de veces las tasas de mutación espontánea.

El mutágeno químico que más se ha utilizado es el metanosulfonato de etilo (EMS) que pertenece a los agentes alquilantes.

- **Físicos**

Uno de los procesos mutagénicos más importantes, en la actualidad, para crear variabilidad genética que no existe en la naturaleza, es la radiación ionizante, como los rayos X, los rayos gamma, los neutrones, los protones y las partículas alfa, cada una de ellas con diferente poder de ionización y de penetración. La radiación puede alterar la secuencia y estructura del ADN.

3.7.3. Rayos gamma

Los rayos gamma son emitidos por el cobalto radiactivo, causan un menor daño en las células vegetales.

Los rayos gamma son un tipo de radiación electromagnética, que debido a las altas energías que poseen constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. La radiación gamma es de naturaleza similar a la luz visible o a las ondas de radio, la única diferencia es que tiene una longitud de onda muy corta y por tanto un nivel de energía más alto que las

luz. Estas diferencias facilitan la penetración profunda de la radiación gamma dentro de ciertos materiales (Rangel, s.f.).

Los procesos de irradiación de la Comisión Nacional de Energía Atómica emplean esta forma particular de ondas electromagnéticas, o sea la radiación Gamma, que se conoce también como radiación ionizante o "energía ionizante". La fuente más comúnmente utilizada de rayos Gamma es el Cobalto - 60. Los diversos productos y sustancias son tratados con energía ionizante emitida por Cobalto - 60 en una instalación conocida como irradiador o planta de irradiación (IAEA. 2008).

En el sistema internacional de medidas, el gray (Gy) es la unidad de dosis absorbida; representa la energía proporcionada por la radiación ionizante a una masa de materia que equivale a un Joule por kilogramo. Antes se reportaba la radiación en rads o en kilorads (Kr). Un gray corresponde a 100 rads (SERNAC, 2010).

3.8. Efecto de la radiación en plantas tratadas con Cobalto 60

Montoya (2007) citado por Quinteros (2012) señala que 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.

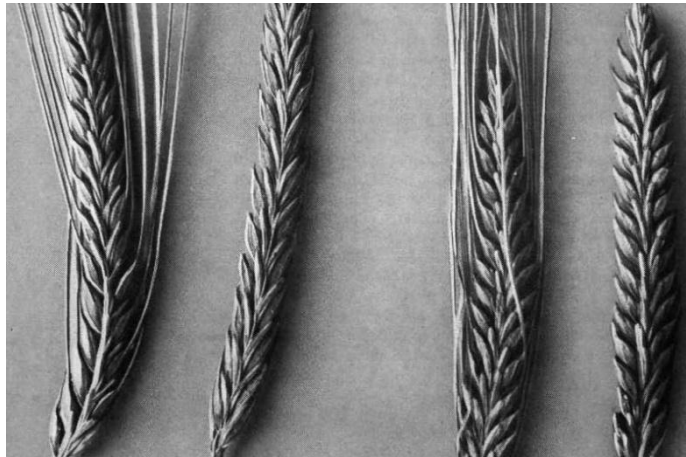
El mismo autor menciona que otra característica importante que cambia en la mutación es la precocidad y el rendimiento, resistencia a microorganismos, insectos, adaptación, la facilidad de cosecha y la resistencia al frío de las variedades tratadas con rayos gamma.

3.8.1. Mutaciones morfológicas (a nivel génico o cromosómico)

Sadao (1975) menciona que los cambios morfológicos de la planta, en hojas, flores y espigas. También puede causar cambios en el tamaño de las plantas pueden ser de mayor o menor tamaño.

Gustafsson (1964) menciona que los caracteres modificados en el cultivo de cebada, mediante la obtención de mutantes pueden incrementar o reducir la longitud de la espiga y la ausencia de las barbas.

En la figura 1 se presenta las espigas mutantes y normales del cultivo de cebada.



Fuente: Gustafsson 1964.

Figura 1. Espiga de cebada normal a la izquierda y a la derecha, espigas mutantes obtenido por irradiación.

Ichikawa y Nishiyama (1967) mencionan que al irradiar trigo (*Triticum aestivum* L.) con radiación gamma de CO-60 a dosis de 10, 20, 30 y 40 krad, encontraron que la altura de planta disminuyó conforme aumentó la dosis; indican también que las mejores dosis para inducir mayor número de mutantes identificables en M2 son de 20 y 40 krad.

3.8.2. Hormesis

Aguilar *et al.* (2013) indican que la palabra hormesis proviene del griego hormaein: estimular; el prefijo horm, también se usa en la palabra hormona y se refiere a la excitación o estimulación aplicada en pequeñas dosis de cualquier agente a cualquier sistema. Hablando de radiación ionizante, una dosis baja es definida como cualquier dosis entre los niveles de radiación ambientales y el umbral marca el límite entre los efectos biológicos positivos y negativos.

El mismo autor menciona que los resultados estadísticamente significativos, obtenidos en microorganismos, plantas, invertebrados y animales de experimentación, han demostrado la existencia ionizante. Dosis bajas de irradiación promueven el aumento en la respiración celular, activación enzimática, incremento en la producción de estructuras reproductivas, mayor crecimiento, maduración temprana, desarrollo acelerado y resistencia a enfermedades.

COSUMER (2005) citado por Llanos (2013) menciona que los defensores de la irradiación opinan que no supone ningún riesgo para la salud del consumidor. Evita intoxicaciones y limita el uso de conservantes químicos, aseguran. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) respaldan esta técnica, porque se abre una vía fácil y efectiva a la conservación de los alimentos, especialmente en el Tercer Mundo.

4. LOCALIZACIÓN

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



Figura 2. Ubicación del centro de investigaciones nucleares (CIAN)

4.1. Descripción del clima

Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano y posee un clima frío y seco la mayor parte del año con una estación lluviosa entre diciembre y febrero. Según el SENAMHI (2013), la localidad presenta las siguientes características climáticas: una precipitación media anual de 458,2 mm, temperatura mínima media anual de 0,9°C y una

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

4.2. Suelo

El suelo es de formación aluvial con disposiciones finas, profundidad efectiva de 25 a 32 cm, textura arcillosa-limosa y franco arcillosa-limosa, moderadamente fuerte, de consistencia adherida en mojado, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. El subsuelo de consistencia ligeramente adherente en mojado y presenta un color pardo rojizo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Material vegetal

Para el presente estudio de investigación, se utilizó semillas provenientes de la generación M1 de trigo variedad “Tepoca 100” que fueron irradiados con rayos gamma a una dosis de 100 y 200 Grey (Gy).

5.1.2. Material de laboratorio

Los materiales que se utilizaron en laboratorio para determinar el porcentaje de germinación fueron las siguientes:

- Cajas Petri
- Papel secante
- Agua destilada
- Pinzas y marcador acrílico
- Cámara de crecimiento.

5.1.3. Material de campo

Los materiales que se utilizaron en campo antes de la siembra y después de la siembra fueron las siguientes:

- Tractor
- Picotas
- Mangueras
- Letreros
- Flexo metro y cinta de agua.

5.1.4. Material de gabinete

Los materiales que se utilizaron durante la evaluación en campo son las siguientes:

- Cámara fotográfica
- Bolígrafos
- Cuaderno para los registros de los datos
- Computadora e impresora.

5.2. Metodología

5.2.1. Procedimiento experimental

5.2.1.1. En la generación M1

La generación M1, las semillas de trigo irradiadas fueron evaluadas en laboratorio y campo.

Las semillas fueron irradiadas con rayos gamma cobalto 60 (co-60) a dosis de 100 Gy, 200 Gy y 300 Gy el 2014 en el hospital Santa Bárbara Sucre. La investigación en la generación M1 fue evaluada por Gómez (2014).

5.2.1.1.1. Trabajo en laboratorio

El trabajo en laboratorio Gómez (2014) evaluó el porcentaje de germinación y la supervivencia de las plantas para poder determinar la dosis letal media utilizando un diseño completamente al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos en estudio. Los mismos que fueron el $T_0 = 0$ Gy, $T_1 = 100$ Gy, $T_2 = 200$ Gy y $T_3 = 300$ Gy en la generación M1.

5.2.1.1.2. Trabajo en campo

De acuerdo con los resultados (anexo 1y 2) de la germinación de la semilla en condiciones de laboratorio. Se utilizaron para la emergencia las semillas que sobrevivieron a la irradiación las cuales fueron las dosis de 100 Gy y 200 Gy. La preparación del terreno implicó las siguientes actividades: a) remoción del terreno, b) roturado y c) nivelación. Para este estudio, se tomaron las siguientes variables agronómicas: emergencia, longitud de la espiga, número de granos por espiga y peso del grano (anexo 3).

5.2.1.2. En la generación M2

5.2.1.2.1. Trabajo en laboratorio

Durante este ciclo se utilizó semillas provenientes de la generación M1, para la prueba de germinación se utilizaron 15 placas Petri y láminas de papel secante los cuales se colocaron en la base interior de las placas y se sembraron 100 semillas de trigo para cada tratamiento los cuales fueron: $T_0 = 0$ Gy, $T_1 = 100$ Gy y $T_2 = 200$ Gy y seguidamente se llevó todas las placas Petri a la cámara de crecimiento a una temperatura 15° C.

A los catorce días de la siembra, se evaluó el porcentaje de germinación de las semillas irradiadas con (Co-60).

5.2.1.2.2. Trabajo en campo

Preparación del terreno

El terreno fue removido antes de la siembra a una profundidad de 30 cm esto para establecer un terreno apto para la siembra de trigo con ayuda de un tractor, seguidamente se realizó el roturado, la nivelación y la delimitación del área de investigación.

El área total del terreno que se utilizó fue de 303,4 m² que a su vez fue dividido en 3 bloques de 26,4 m², con una separación entre bloques de 0,5 m que sirvió de pasillo, cada bloque fue dividido en 3 unidades experimentales.

Siembra

La siembra de trigo se realizó a una densidad de 15X60 cm, el método empleado fue por golpe de forma manual de 2 a 3 semillas.

Riego

El riego se realizó antes y después de la siembra, con la finalidad de homogenizar la humedad del terreno, y para que las semillas de trigo tengan una humedad adecuada para la emergencia; posteriormente se efectuó dos veces por semana, mediante la utilización de mangueras y un aspersor, hasta la aparición de las primeras lluvias de la época.

Colocado de letreros

Los letreros se colocaron después de la siembra para poder identificar los tratamientos. El material que se utilizó para la elaboración de letreros fueron madera, pintura y clavos.

Labores culturales

Durante el desarrollo de la planta, se efectuó los deshierbes para evitar la competencia con el cultivo por agua y nutrientes, el deshierbe se realizó de manera manual con ayuda de picotas, evitando así el uso de productos químicos y a fin de tener el cultivo de trigo libre de malezas.

Cosecha

Esta actividad se llevó a cabo, cuando las plantas completaron su madurez fisiológica y respectivo secado a punto de desgrane (coloración amarillo oro) como se presenta en la figura 3 las plantas mutantes y las plantas del tratamiento testigo.

La cosecha de trigo consistió en el segado, secado, trillado y venteado de forma manual.

- El segado se realizó de forma manual (corte con oz), cuando las plantas cumplieron su ciclo vegetativo.
- La trilla fue individual por tratamiento, mediante el pisado y pulido de forma manual.
- Para venteado de los granos se utilizó lonas y recipientes para eliminar las impurezas obteniendo grano limpio.



Figura 3. Cosecha del trigo en el lado derecho muestra las espigas sin arista y en el lado izquierdo muestra las plantas con espigas normales

5.2.2. Diseño Experimental

5.2.2.1. Etapa germinación

El presente proyecto de investigación se realizó bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y con tres repeticiones. El modelo lineal aditivo se realizó según el modelo descrito por (Ochoa, 2009).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo niveles de irradiación

ε_{ij} = Error experimental

5.2.2.2. Etapa de campo

El presente proyecto de investigación se realizó bajo un diseño de Bloques completos al azar con tres tratamientos y tres bloques. El modelo lineal aditivo se realizó según el modelo descrito por (Ochoa, 2009).

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera

μ = Media poblacional

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

α_i = Efecto del i-ésimo niveles de irradiación

ε_{ij} = Error experimental

Distribución de los tratamientos

Los tratamientos evaluados son tres incluyendo el testigo. Los cuales fueron irradiados con cobalto 60, mismos que se muestran a continuación:

To = Testigo (semillas de trigo sin irradiación)

T1 = semillas de trigo irradiado a 100 Gy

T2 = semillas de trigo irradiado a 200Gy

Las dimensiones del área experimental fueron las siguientes:

Área total: 303.4m² (más bordes y pasillos)

Área por bloques: 26.4m²

Ancho de pasillos: 0.50 m

Ancho de bordes: 0.50 m

Transformación de datos:

La transformación de datos se realizó mediante la selección de las variables de respuesta (expresadas en porcentajes, en conteos y número de días).

Ochoa (2009) señala que en algunas situaciones en las que se realiza el análisis de varianza, los datos pueden provenir de poblaciones que no representan una distribución normal, o que los diferentes grupos de las poblaciones tengan diferentes varianzas, se hace necesario realizar la transformación de datos.

La transformación de datos hace que los valores presenten una distribución normal o que las varianzas de los grupos de la población sean uniformes y homogéneas. Cuando los números observados son pequeños (de 2 a 10), se prefiere la transformación $\sqrt{Y+1}$ o $\sqrt{Y+0,5}$, en especial cuando algunos de los números observados son cero.

Los datos expresados en porcentajes se transforman de manera apropiada para este tipo de datos recibe el nombre de angular y arcoseno, la cual se obtiene mediante la determinación del ángulo cuyo seno es la raíz cuadrada de la proporción (porcentaje/100). La cual esta expresada por Arcseno \sqrt{Y} o $1/\sqrt{Y}$ empleada para transformar los valores en porcentajes.

Las variables que se transformaron fueron las siguientes: porcentaje de germinación, días a la emergencia, número de espigas por planta, número de granos por espiga, número de días al espigamiento y días a la cosecha.

Para el análisis de los datos de las variables de respuesta se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS Statistics; V19.

5.2.3. Variables de Respuesta

Las variables de respuesta que se registraron durante todo el ciclo agrícola del trigo en esta investigación. Se escogieron 5 plantas al azar de la parte central para evitar el error de borde y tener plantas más homogéneas de cada unidad experimental, que se identificaron con marbetes para evaluar durante todo su ciclo vegetativo.

5.2.3.1. Variables en laboratorio

5.2.3.1.1. Porcentaje de germinación

Durante este ciclo se utilizó semillas provenientes de la generación M1 del cultivo de trigo involucrado en este estudio. Para establecer el experimento de germinación de la semilla en condiciones de laboratorio, se tomaron al azar 100 semillas de cada tratamiento, fueron colocadas en placas Petri y papel secante que se humedeció con agua destilada, a los catorce días de la siembra se evaluó el porcentaje de germinación, se calculó el porcentaje de germinación con la siguiente formula:

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

5.2.3.2. Variables de crecimiento y desarrollo en campo

5.2.3.2.1. Días a la emergencia

La evaluación se realizó de una observación directa, contando los días transcurridos a partir de la fecha de siembra, hasta la fecha en que emergieron más del 50% de las plantas por unidad experimental. El registro se realizó a los 29 días donde las plantas ya emergieron.

5.2.3.2.2. Altura de la planta

Se registró la altura de la planta a los 55 días, desde la base del tallo principal hasta la última espiguilla, sin incluir las aristas, efectuando el muestreo de cinco plantas por cada unidad experimental, para luego obtener un promedio.

5.2.3.2.3. Número de espigas por planta

En esta característica se contó el número de tallos producidos por planta de cada unidad experimental, tomando 5 plantas elegidas al azar de la parte central para evitar el error de borde y tener plantas más homogéneas de cada unidad experimental.

5.2.3.2.4. Días a espigamiento

Se contabilizó el número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50% de las plantas de cada unidad experimental mostraban la totalidad de espigas, a los 85 días se registró la formación de espigas.

5.2.3.3. Variables a la cosecha

5.2.3.3.1. Longitud de la espiga

De cada unidad experimental se evaluó el tallo principal de cada planta escogiendo 5 plantas al azar, realizando la medición desde el punto de inserción de la espiga hasta la punta de la espiga sin incluir las aristas.

5.2.3.3.2. Número de granos por espiga

Esta variable se determinó contando el número de granos de la espiga del tallo principal, mediante el muestreo de 5 plantas por unidad experimental.

5.2.3.4. Variables fenológicas

5.2.3.4.1. Días a la cosecha

Se registró el número de días transcurridos desde la fecha de emergencia, hasta la fecha en la cual más del 50% de las plantas mostraban una coloración amarillo – oro.

5.2.3.5. Rendimientos del grano en Kilogramos

Para evaluar esta variable se determinó pesando el grano producido de cada unidad experimental y los resultados obtenidos se expresaron en Kilogramos por hectárea.

5.2.3.6. Peso de 1000 semillas en gramos

Para esta variable a medir se sacaron muestras al azar de cada tratamiento, de forma manual contando 1000 semillas seguidamente se utilizó una balanza de precisión y los resultados se expresaron en gramos.

5.2.3.7. Descripción de individuos a modificaciones morfológicas por efecto de las irradiaciones

Esta actividad se realizó observando constantemente todas las plantas en estudio durante todo su ciclo vegetativo, específicamente en los cambios ocasionados por el efecto de irradiación en las características morfológicas y cuantitativas en campo como ser: plantas con presencia de alturas menores y mayores, hojas modificadas, espigas con mayor longitud, ausencia de las aristas en las espigas, decoloración de las hojas y presencia de las plantas que llegan a su madurez fisiológica antes que las demás plantas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en laboratorio y campo de forma detallada.

6.1. Variable en laboratorio

Las variables de respuesta en laboratorio, se tomaron durante todo el proceso de germinación, los resultados e interpretación que se obtuvieron se describen a continuación:

6.1.1. Porcentaje de germinación

En el cuadro 2 se presenta el análisis de varianza donde se muestra que el valor del Fc (calculado) es mayor al Ft ($\alpha=0,05$), determinándose que estadísticamente se tienen diferencias significativas en el porcentaje de germinación con los diferentes tratamientos en estudio.

Cuadro 2. Análisis de varianza del porcentaje de germinación para el cultivo de trigo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Tratamientos	2	105,53	52,76	8,57	0,017	*
Error experimental	6	36,92	6,15			
Total	8	142,45				
C.V.	4,6 %					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Por tanto se asume que el porcentaje de germinación no es homogénea, para cada tratamiento (cuadro 2) indica que al utilizar semillas provenientes de la primera generación M1 con dos niveles de dosis de radiación permite lograr diferentes porcentajes de germinación para esta segunda generación M2.

Teniéndose un coeficiente de variación de 4,6% que es inferior al 8%, esto nos indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, por lo cual los datos son confiables.

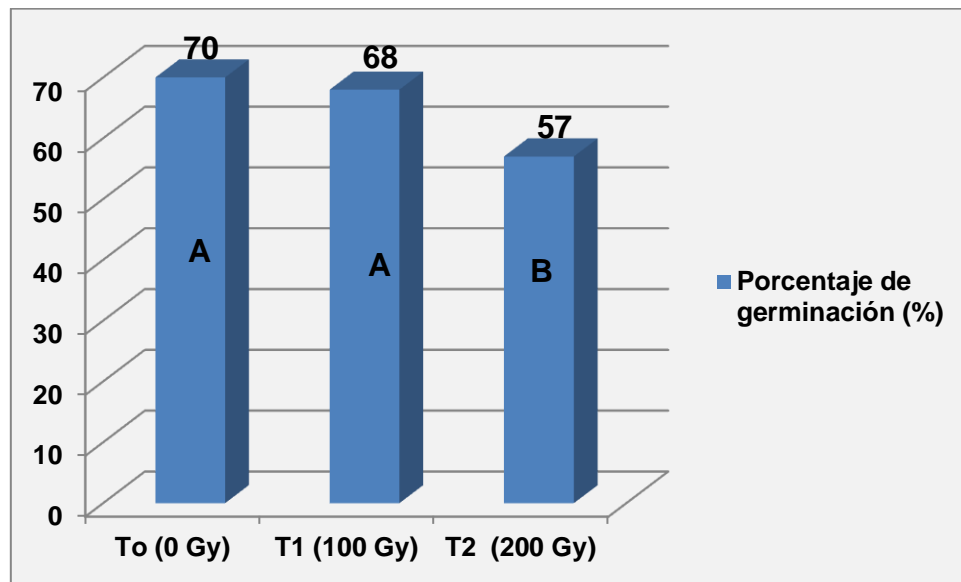


Gráfico 1. Porcentaje de germinación a partir de semillas de diferentes tratamientos de irradiación. Las diferencias entre tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

En el gráfico 1 se observa que el tratamiento testigo y el T1 (100 Gy) estadísticamente demostraron ser iguales obteniendo 70% y 68% de germinación. Mientras que el T2 (200 Gy) fue estadísticamente diferente de los dos tratamientos anteriores presentando 57% de germinación.

Como se observa durante la evaluación se hizo evidente que el porcentaje de germinación en los tres tratamientos presentaron: que a mayor dosis de irradiación se registró menor porcentaje de germinación por que se podría asumir que una reducción en el porcentaje se debe a la alta dosis de radiación.

Esta disminución de la germinación a altas dosis de irradiación coincide con otras investigaciones realizadas por Poehlman (1983) que reporta que las semillas irradiadas suelen perder su poder germinativo, dependiendo esto de su naturaleza genética, de la especie y variedad también de la intensidad de radiación. Los estudios

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

Para la dosis de 100 Gy, se observó una similitud estadística con el testigo en la germinación, probablemente las semillas que provienen de la primera generación M1 no influyen de manera significativa para la generación M2.

González *et al.* (2002) mencionan que los efectos fisiológicos provocados por las radiaciones ionizantes en semillas reportan que existe una reducción en el porcentaje de germinación. Para la dosis de 200 Gy se reportó una disminución progresiva y significativa hasta alcanzar el valor mínimo para la generación M2.

6.2. Variables de crecimiento y desarrollo en campo

6.2.1. Días a la emergencia

La figura 4 presenta el campo experimental de trigos emergiendo.



Figura 4. Etapa de emergencia

En el cuadro 3 se presenta el análisis de varianza, donde se muestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre bloques ni entre los tratamientos.

Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable de días a la emergencia para el cultivo de trigo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	0,1	0,05	0,649	0,57	N.S.
Tratamientos	2	0,231	0,116	0,431	0,328	N.S.
Error Experimental	4	0,31	0,077			
Total	8	0,641				
C.V.	5,3%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Según el cuadro 3 con los análisis realizados con los datos obtenidos durante la evaluación en campo, en la generación M2 se pudieron determinar que al utilizar la radiación en semillas no influye en la emergencia. Saneen (1988) menciona que al trabajar con trigo se encontró una reducción en el número de plántulas emergidas M1, conforme aumentaban las dosis de radiación, situación causada por la inducción de un exceso de cambios en el patrimonio genético del material irradiado.

Para este caso que es la segunda generación M2 con los resultados obtenidos, para la emergencia se observó en campo que las plántulas emergen a los 29 días en promedio. Probablemente esto se pudo deber a que las semillas de trigo irradiado y semillas del testigo se sembraron en un suelo que tiene una retención homogénea de agua por tal razón no hay diferencias estadísticas en los días a la emergencia entre los niveles de irradiación.

Teniéndose un coeficiente de variación de 5,3%, el valor es inferior al 25%, esto nos indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, por lo cual los datos son confiables.

6.2.2. Altura de la planta

En el cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para la altura de las plantas donde estadísticamente no existen diferencias significativas entre bloques. Sin embargo si se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable altura de la planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	164,89	82,45	6,33	0,058	N.S.
Tratamientos	2	222,009	111,004	8,52	0,036	*
Error Experimental	4	52,12	13,03			
Total	8	439,01				
C.V.	5,25%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo**.

Teniéndose un coeficiente de variación de 5,25%, el valor es inferior al 25% por lo cual los datos son confiables. Esto nos indica que existe un buen manejo de las unidades experimentales.

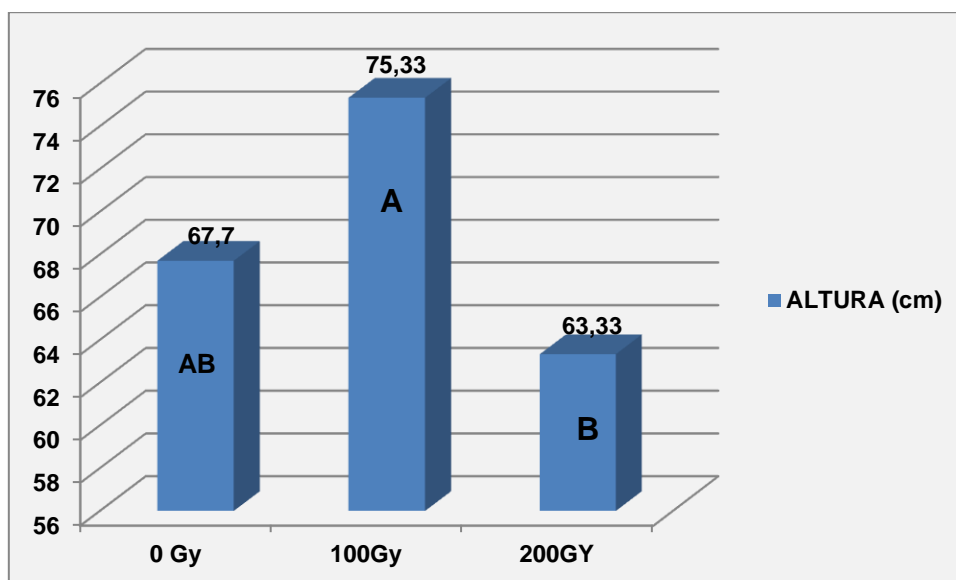


Gráfico 2. Comparación de medias para la altura de planta, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

Como se puede observar en el gráfico 2 con la prueba Duncan se determinó que estadísticamente existen diferencias entre las dosis de irradiación. Para la altura de planta, se puede evidenciar que la dosis de 100 Gy estadísticamente obtuvo la mayor altura de 75,33 cm, el testigo logro obtener una altura en promedio de 67,6 cm, en cambio la dosis de 200 Gy, estadísticamente obtuvo una altura inferior en promedio de 63,33 cm es decir que a mayor dosis de radiación se reduce altura.

Con los resultados obtenidos en la altura de la planta muestran una tendencia a disminuir conforme aumenta la dosis de irradiación, lo que concuerda con lo obtenido por Montoya (2007) quien expresa que los caracteres modificados mediante la inducción de mutaciones en las plantas generalmente son morfológicos, que incluye una reducción de altura.

Los estudios realizados por Castillo y Robles (1986) señalan que la altura de dos variedades de cártamo (***Carthamus tinctorius*** L.) disminuye al irradiar la planta con una dosis alta. Igualmente Irfaq y Nawab (2001) encontraron que la altura de planta de trigo disminuyó conforme aumentó la dosis de irradiación.

Con la dosis de 100 Gy se obtuvo plantas con mayor altura estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos por Iglesias *et al.* (2010) citado por Aguilar (2013) mencionan que esto puede deberse a la hormesis provocada por las dosis bajas de irradiación, que al estimular procesos fisiológicos (radio estimulación), en plantas por efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico y abiótico potencialmente dañino, inducen respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés.

Los estudios realizados por Aguilar *et al.* (2013) dan a conocer sobre el pino Paraná, también conocido como pino Brasil, al irradiar semillas con dosis bajas de rayos gamma, se logró incrementar el crecimiento de las plántulas.

También, los estudios realizados por Calderón *et al.* (2003) dan a conocer que obtuvieron por irradiación con dosis bajas las semillas de triticale (híbrido de trigo y centeno), plantas con mayor tamaño. Con estos resultados se podría decir que una las características más fácilmente modificadas en los trabajos de mutagénesis, corresponden a la altura de la planta, lo cual ha sido corroborado en cultivos como el cártamo (Castillo y Robles, 1986) y quinua (Cadena 1992).

6.2.3. Número de espigas por planta

En el cuadro 5 se presenta el análisis de varianza, en el caso de los bloques el valor de F_c es inferior al valor F_t ($\alpha=0,05$), por lo que concluimos que entre bloques no se presentan diferencias estadísticas, sin embargo para los tratamientos el valor F_c es mayor al valor de F_t ($\alpha=0,05$), determinándose que se tienen diferencias significativas para el número de espigas por planta.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el número de espiga por planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F_c	F_t	
Bloques	2	0,149	0,074	3,89	0,117	N.S.
Tratamientos	2	0,442	0,221	11,37	0,022	*
Error Experimental	4	0,077	0,019			
Total	8	0,668				
C.V.	5,9%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Teniéndose un coeficiente de variación de 5,9%, el valor es inferior al 25% esto nos indica que los datos son confiables y existe un buen manejo de las unidades experimentales.

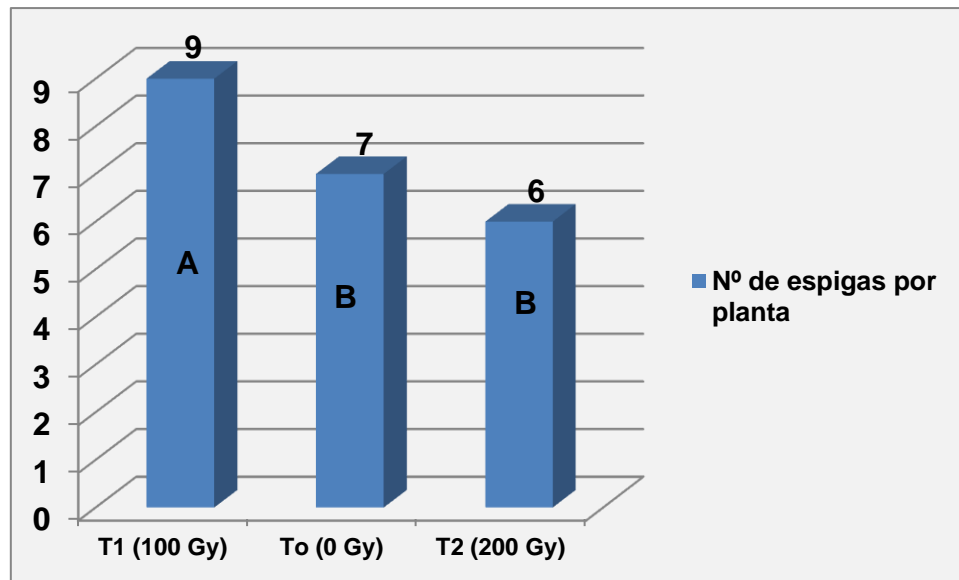


Gráfico 3. Comparación de medias para el número de espigas por planta, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

En el gráfico 3 se presentan los resultados obtenidos con la prueba Duncan nos muestra que estadísticamente las plantas sometidas a una dosis de 100 Gy lograron obtener mayor número de espigas por planta, en promedio de 9 espigas por planta, en cambio el testigo y la dosis de 200 Gy estadísticamente resultaron ser iguales logrando obtener un promedio de 6 y 7 espigas por planta respectivamente.

Con los resultados obtenidos es evidente que al utilizar semillas provenientes de la primera generación influyen de manera positiva para el caso de la dosis de 100 Gy. Es importante aclarar que diferencias numéricas por mínimas que sean son de importancia para la identificación de mutaciones; por lo que se puede decir que si se tiene un incremento en el número de espigas por planta también se estaría incrementando el rendimiento.

La dosis de 200 Gy no influye de manera positiva ya que no se incrementa el número de espigas por planta, esto nos indica que al utilizar semillas provenientes de la

generación M1 no influyen para esta variable en la generación M2 con la dosis de 200 Gy.

Según Morales (1987) citado por Vega (1994) evaluó el efecto de la selección para espigas en plantas M1 a M4 de trigo, procedentes de seis irradiaciones consecutivas con radiación gamma de cobalto 60 (Co-60), encontró que en cada generación de irradiación el aumento de dosis redujo el número de espigas y la selección fue más efectiva en las generaciones de irradiación y de segregación más avanzadas.

En esta investigación con los resultados obtenidos se puede evidenciar que con la dosis de 200 Gy se reduce el número de espigas por planta con respecto al tratamiento testigo y a la dosis de 100 Gy.

6.2.4. Días al espigamiento

En la figura 5 se presenta plantas con formación de espigas.



Figura 5. Plantas con formación de espigas

Como se presenta en el cuadro 6 los resultados del análisis de varianza, donde muestra que no existen diferencias significativas entre los bloques. De la misma manera se observa que estadísticamente existen diferencias significativas para el número de días al espigamiento entre tratamientos.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el de número de días al espigamiento

F.V.	G.L.	S.C.	C.M	Fc	Ft	
Bloques	2	0,033	0,0165	1,72	0,289	N.S.
Tratamientos	2	0,216	0,108	11,176	0,023	*
Error Experimental	4	0,039	0,0096			
Total	8	0,288				
C.V.	1.09%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Teniéndose un coeficiente de variación de 1,09% el valor es inferior al 25%, es evidente que existe un buen manejo de las unidades experimentales.

En el gráfico 4 se presenta los resultados de la Prueba Duncan donde se observa que estadísticamente, el que tomo más tiempo en formar espigas fue el tratamiento testigo con respecto a las semillas que fueron sometidos a dosis de irradiación las cuales mostraron ser iguales en cuanto al número de días al espigamiento de 77 y 76 días respectivamente.

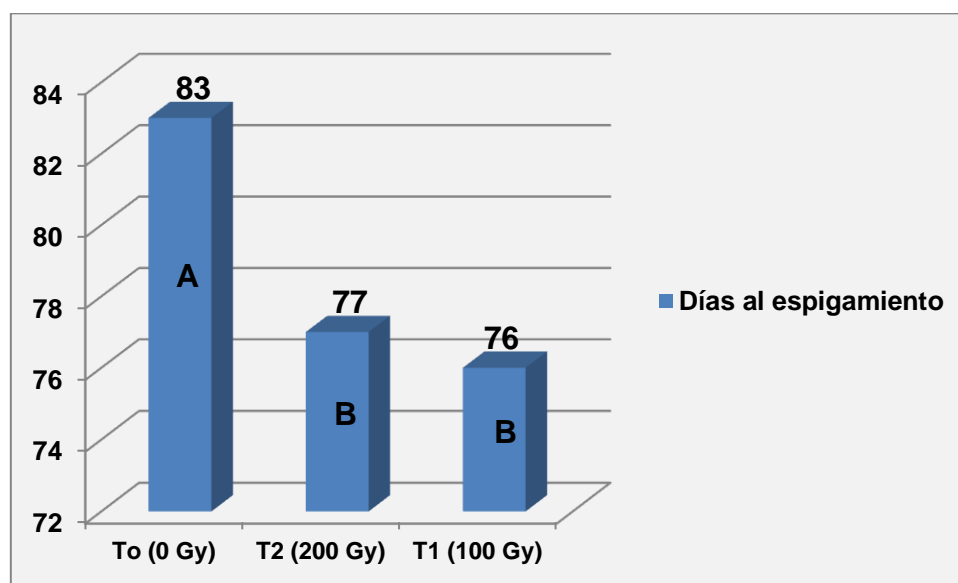


Gráfico 4. Comparación de medias para el número de días al espigamiento, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

Con los resultados obtenidos (grafico 4) es evidente que para esta variable lo mejor es que forme espigas en menor tiempo, ya que después de haber formado las espigas por completo empieza la etapa de floración, esta etapa es muy riesgoso ya que depende de esto la formación de granos en las espigas, esto indica que al reducirse el tiempo también estamos evitando riesgos ocasionados por el medio ambiente.

Los estudios realizados por Hernández *et al.* (1994) reportan un retraso en la variable de días al espigamiento y días a madurez fisiológica a dosis altas, en dos variedades de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) en la generación M1 y M2, sobre este mismo cultivo en los ensayos semicomerciales encontraron que a dosis altas existe un marcado retraso en la floración. En este caso con los resultados se obtuvo que las dosis de 100 Gy y 200 Gy se redujera los días en la formación de espigas con respecto al tratamiento testigo.

En este caso para la generación M2 se observa una reducción de 7 días en la formación de espigas para los dos tratamientos, lo que se considera como un efecto favorable de la radiación, ya que al reducirse los días de formación de espigas también favorece a evitar que las heladas ocasionen daños de perdida hacia el cultivo. Lo que concuerda Butnaru (1990) obtuvo una reducción de cinco días en triticales irradiado con rayos gamma cobalto 60 (co-60) en días a la floración.

Es evidente que si existen diferencias como se muestra en los resultados obtenidos de días en la formación de espigas resultaría ser beneficioso ya que se evitaría que las heladas ocasionen daños al cultivo y de esta forma tener plantas con un buen rendimiento.

6.3. Variables a la cosecha

6.3.1. Longitud de la espiga

La figura 6 presenta la longitud de las espiga del trigo.



Figura 6. Longitud de la espiga

En el cuadro 7 se presenta el análisis de varianza, donde se observa que no existen diferencias significativas entre los bloques. Sin embargo para la longitud de la espiga se muestra que estadísticamente existen diferencias significativas.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la longitud de la espiga

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	1,056	0,528	2,351	0,211	N.S.
Tratamientos	2	4,869	2,434	10,847	0,024	*
Error Experimental	4	0,898	0,224			
Total	8	6,823				
C.V.	4,9%					

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = No significativo

Teniéndose por otro lado el coeficiente de variación para la longitud de la espiga es 4,9% que es menor al 25%, lo cual indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, aceptando la confiabilidad de los datos.

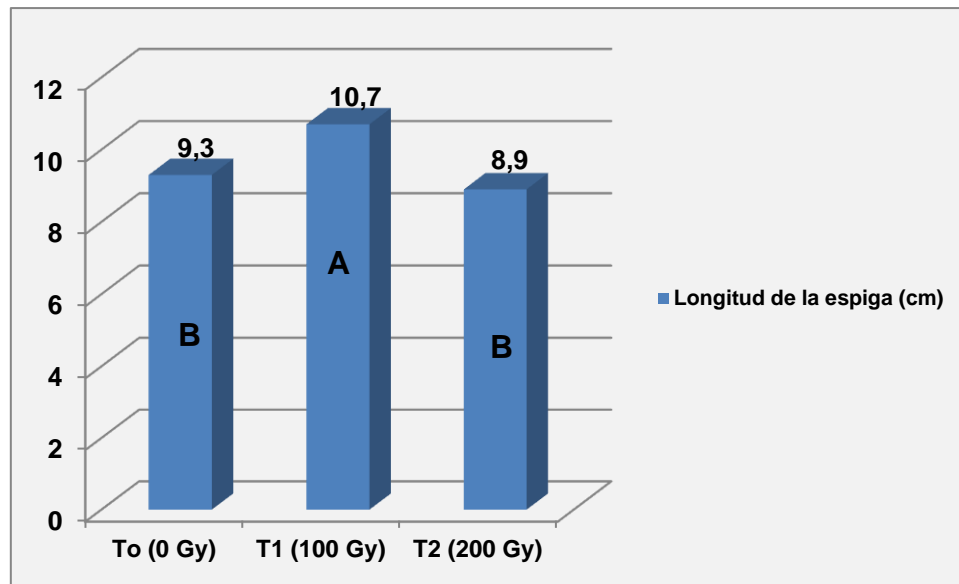


Gráfico 5. Comparación de medias para la longitud de la espiga, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

De acuerdo al Gráfico 5 la dosis de 100 Gy demostró ser estadísticamente el que obtuvo una mayor longitud y se caracteriza porque logra una longitud en promedio de 10,7 cm es decir que al utilizar semillas sometidas a la irradiación en la generación M2 permite lograr una mayor longitud en las espigas, en cambio se evidenció que estadísticamente el To y T2 han demostrado ser iguales lograron longitudes inferiores con un promedio de 9,3 cm y 8,9 cm respectivamente.

Es evidente que a menores dosis de irradiación se obtienen buenos resultados en las características cuantitativas, como se puede evidenciar en este caso para la longitud de las espigas donde se incrementa 1,4 cm, también se observa que a mayores dosis de irradiación no se obtienen buenos resultados ya que no se incrementa ni se reduce la longitud de la espiga por el contrario se mantiene estadísticamente.

Cervantes *et al.* (1999) dan a conocer que la selección individual, la irradiación recurrente y la evaluación de generaciones avanzadas conducen a un incremento en rendimiento, en su trabajo de cebada obtuvo que al seleccionar para mayor número

de espiguillas por espiga y longitud de espiga mayor rendimiento de grano que la variedad original.

En la investigación se puede evidenciar, con los resultados obtenidos un incremento en la longitud de la espiga y por ende se incrementó el número de espiguillas por espiga estos resultados obtenidos concuerdan con los trabajos realizados por Vega (1994) quien da a conocer un incremento de la longitud de la espiga con dosis bajas en el cultivo de cebada. También los estudios realizados por Partida *et al.* (2007) dan a conocer que al irradiar trigo con dosis bajas se incrementa el volumen de peso de grano, el número de espiguillas por espiga superando al testigo.

El mismo autor menciona que se incrementa el número de espiguillas por espiga, por lo cual nos indica que la incrementarse el número de espiguillas por espiga también se incrementa la longitud de la espiga. Esta generación M2 se observó el incremento de la longitud y el incremento del número de espiguillas por espiga utilizando semillas irradiadas a una menor dosis de irradiación.

6.3.2. Número de granos por espiga

De acuerdo al cuadro 8 se presenta los resultados obtenidos con el análisis de varianza donde no existen diferencias significativas entre los bloques y se puede observar para el número de granos por espiga que estadísticamente existen diferencias significativas en los tratamientos.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el número de granos por espiga

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	0,762	0,381	3,31	0,142	N.S.
Tratamientos	2	2,1	1,05	9,12	0,032	*
Error Experimental	4	0,461	0,115			
Total	8	3,323				
C.V.	4,6%					

** = Altamente significativo; * = Significativo; N.S. = No significativo.

Teniéndose por otro lado un coeficiente de variación de 4,6% que es menor al 25%, se puede evidenciar que hubo un buen manejo de las unidades experimentales por lo cual es evidente que los datos son confiables.

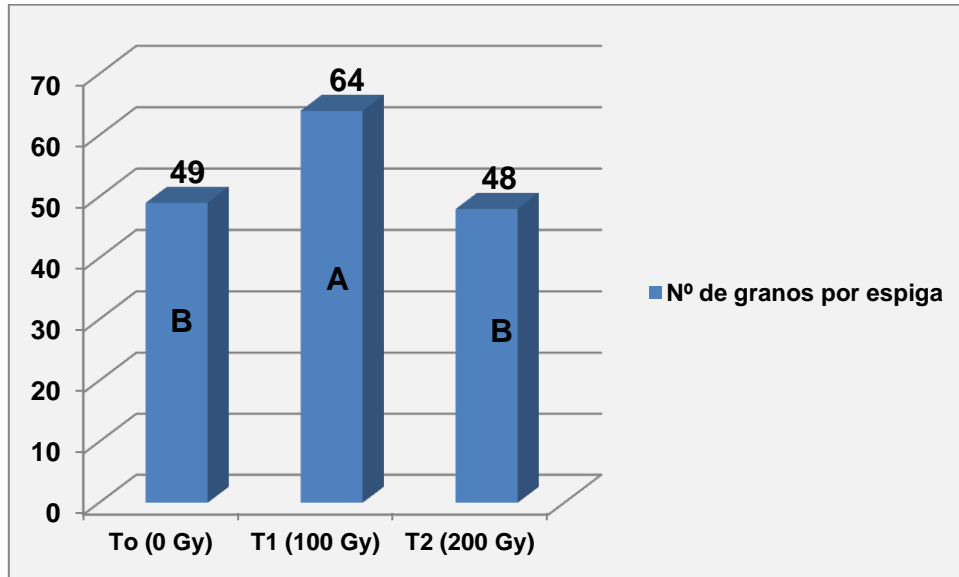


Gráfico 6. Comparación de medias para el número granos por espiga, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

De acuerdo al gráfico 6 el Tratamiento (T1) demostró ser estadísticamente el que obtuvo mayor número de granos, donde las espigas en promedio tuvieron 64 granos por espiga; por otra parte se evidenció que estadísticamente el To y T2 demostraron ser iguales ya que obtuvieron 49 y 48 granos por espiga respectivamente.

Utilizar semillas irradiadas a una menor dosis aumenta el número de granos por espiga, estos resultados concuerdan con las investigaciones realizadas en otras especies así por ejemplo Ramírez *et al.* (2003) mencionan que al irradiar triticale con cobalto 60 (co-60) obtuvieron un mejor rendimiento de grano esto dependió fundamentalmente del incremento del número de espiguillas por espiga, también el incremento del número de granos por espiga y al incrementarse el número de tallos por planta.

También el mismo autor menciona que al incrementarse la longitud de las espigas también se incrementa el número de granos por espiga para las generaciones M2 y M3, utilizando bajas dosis de radiación. Anteriormente se presentaba un incremento de la longitud de las espigas a una menor dosis de irradiación, también en este caso se incrementó el número de granos por espiga.

6.4. Variables fenológicas

6.4.1. Días a la cosecha

De acuerdo al cuadro 9 se presenta los resultados del análisis de varianza donde se puede observar que estadísticamente no existen diferencias significativas para los bloques y para los tratamientos en el análisis se observa que las dosis de irradiación presentan diferencias significativas al 5% de probabilidad estadística en días a la cosecha.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable de días a la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	0,372	0,186	4,227	0,103	N.S.
Tratamientos	2	0,863	0,432	9,797	0,028	*
Error Experimental	4	0,176	0,044			
Total	8	1,412				
C.V.	1,6%					

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = No significativo

De acuerdo con el coeficiente de variación nos da un resultado de 1,6% que es inferior al 25%, esto nos indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales por lo cual los datos son confiables.

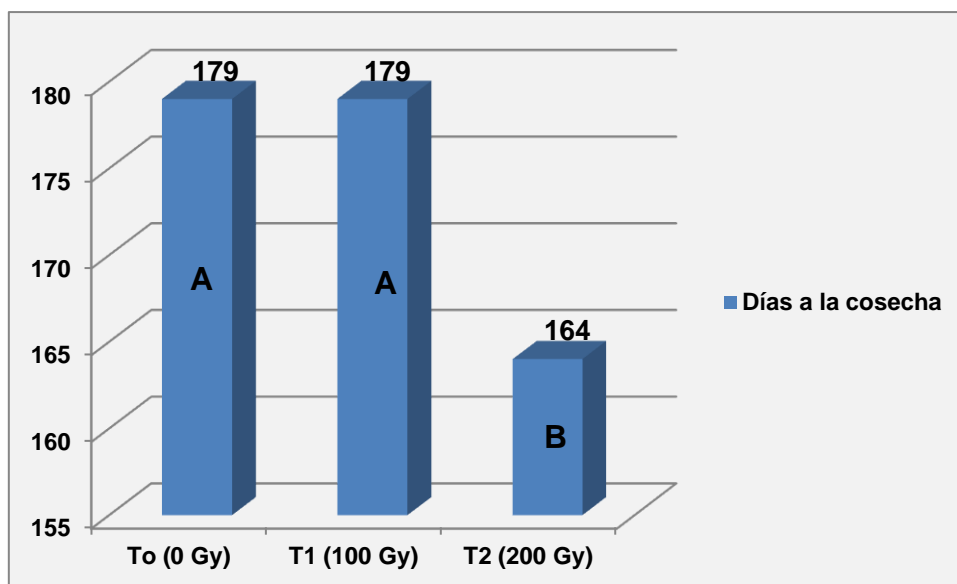


Gráfico 7. Comparación de medias para el número de días la cosecha, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

En el Gráfico 7 se presenta los resultados obtenidos mediante la prueba Duncan la cual nos indica que estadísticamente existen diferencias significativas entre tratamientos. Se observa que para el T1 y el To estadísticamente han demostrado ser iguales, logrando un promedio de 179 días a la cosecha. Esto nos indica que estos dos tratamientos tardaron más días en llegar a su madurez fisiológica.

En esta generación M2 la dosis de 100 Gy no afectó para esta variable ya que demostró ser igual al tratamiento testigo, esto probablemente se deba a que la radiación con dosis bajas no influye en la madurez fisiológica estos resultados concuerdan con los trabajos realizados por Muñoz y López (1989) que al trabajar con dosis bajas en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), indican que los días a la madurez fisiológica no fueron afectadas por la acción de la irradiación en las semillas.

Estudios realizados por Salmerón *et al.* (1994) al trabajar en la selección para rendimiento en soya, que conforme se incrementaban las dosis de radiación existía un cambio en la madurez de precoz a intermedia o tardía para la generación M1 y M2.

En cambio la dosis alta en esta generación M2 en este estudio se produjo una reducción a la madurez fisiológica, logrando llegar a su madurez a los 164 días resultando ser precoz por 15 días, durante la evaluación en campo se evidencio que las pequeñas plantas llegaban a su madurez rápidamente en cambio las plantas altas llegaban a su madurez fisiológica lentamente. Los resultados obtenidos en el estudio, tienen relación con lo determinado por Argumedo (2013) que obtuvo plantas con 12 días de precocidad frente al testigo, en una población de mutante de trigo irradiada con rayos gamma a dosis de 200 y 300Gy.

Es importante aclarar que diferencias numéricas por mínimas que sean son de importancia en la identificación de mutaciones; por lo que se puede decir que la dosis de 200 Gy se adelantó 15 días en la madurez fisiológica con respecto al testigo y a la dosis de 100 Gy.

6.5. Rendimiento de grano de trigo

En el cuadro 10 se presenta los resultados del análisis de varianza para el rendimiento del grano de trigo, entre los bloques se presenta que estadísticamente el resultado indica que hay diferencias altamente significativas con lo que aumenta la precisión de la investigación y entre los niveles de irradiación el resultado nos muestra que estadísticamente existe diferencias altamente significativas en el rendimiento de grano.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el rendimiento

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
Bloques	2	1,912	0,956	24,404	0,006	**
Tratamientos	2	2,922	1,461	37,298	0,003	**
Error Experimental	4	0,157	0,039			
Total	8	4,99				
C.V.	3,8%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Teniéndose un coeficiente de variación de 3,8% que es inferior al 25% esto indica que existe un buen manejo de las unidades experimentales por cual los datos son confiables.

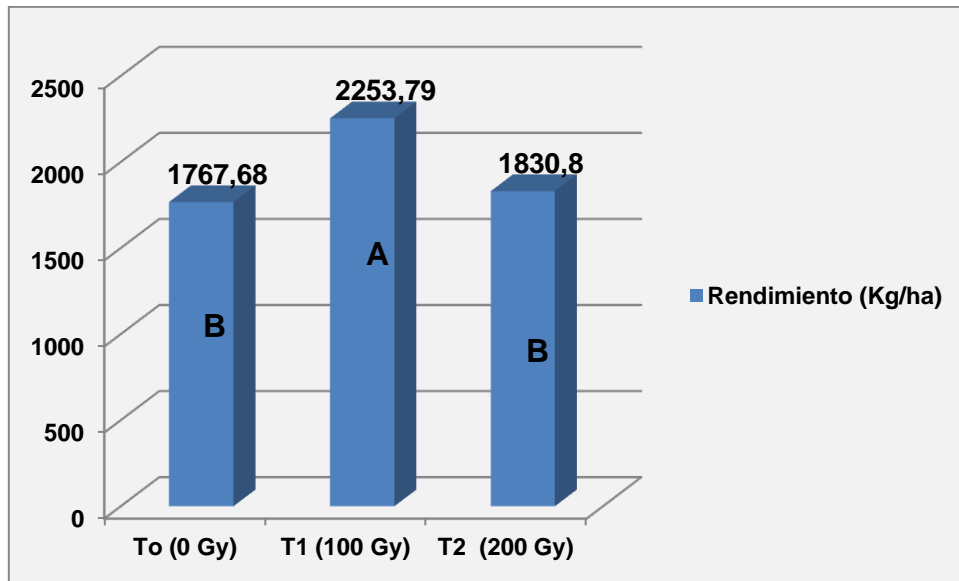


Gráfico 8. Comparación de medias para el rendimiento, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

Según el gráfico 8 el T1 demostró ser estadísticamente el que obtuvo mayor rendimiento, teniéndose un promedio de 2253,79 kg/ha probablemente esto se deba a que mostró mayor número de espigas por planta, mayor longitud en las espigas y mayor número de granos por espiga. Por otra parte se evidenció que estadísticamente el To y T2 mostraron ser iguales con un rendimiento en promedio de 1767,68 kg/ha y 1830,80 kg/ha que en definitiva tuvieron menor rendimiento en comparación al T1.

Esto podría ser a causa de la aplicación de dosis bajas para este cultivo, donde se van modificando de manera positiva para algunas características de planta de tal forma que se van mejorando a medida que van pasando las generaciones estos resultados concuerdan con los estudios realizados por Ruiz (1973) encontró que por el efecto de dosis bajas en trigo el rendimiento se incrementó.

También, los estudios realizados por Wani (2011) que obtuvo en un experimento con semillas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) irradiadas con rayos gamma a dosis de 150, 200, 300 y 400 Gy encontró mutaciones morfológicas con alto rendimiento en la generación M2.

Con todos los resultados obtenidos en las variables evaluadas se evidencio un incremento en el número de espigas por planta, al incrementarse la longitud de las espigas también se incrementa el número de espiguillas por espiga y el incremento del número de granos por espigas todas estas variables probablemente lograron que se incremente el rendimiento.

6.7. Peso de 1000 semillas (g)

De acuerdo con el análisis de varianza el cuadro 11 presenta los resultados obtenidos, que muestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre los bloques y entre los niveles de irradiación los resultados muestran que estadísticamente existen diferencias significativas para el peso de 1000 semillas.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el peso de 1000 semillas (g)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M	Fc	Ft	
Bloques	2	0,602	0,301	0,178	0,843	N.S.
Tratamientos	2	29,228	14,614	8,65	0,0352	*
Error Experimental	4	6,757	1,689			
Total	8	36,588				
C.V.	3,4%					

No significativo (N.S.). Significativo *, altamente significativo **.

Teniéndose un coeficiente de variación de 3,4% que es inferior al 25%, esto indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales por lo cual los datos son confiables.

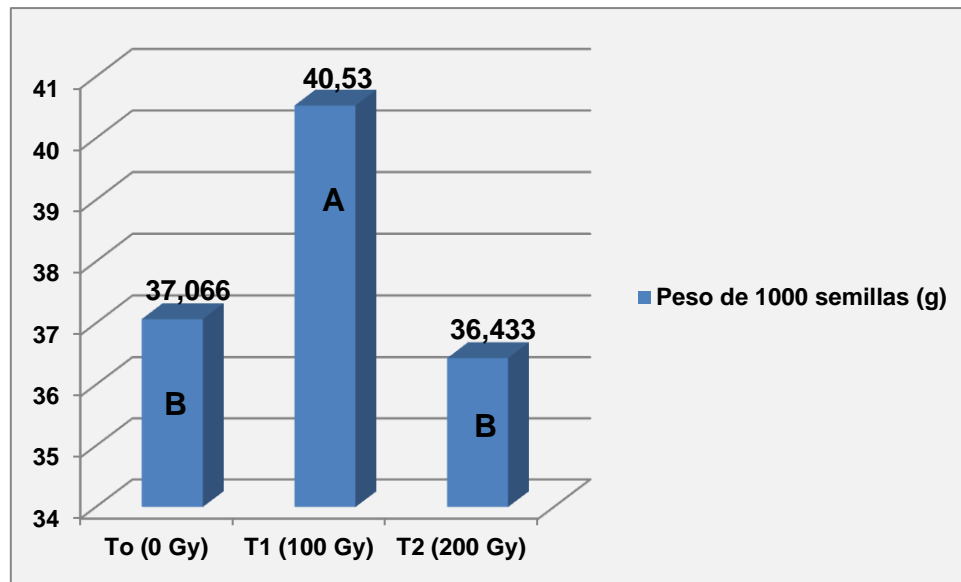


Gráfico 9. Comparación de medias para el peso de 1000 semillas, las diferencias entre los tratamientos se marcan con letras distintas sobre las barras de medias ($\alpha=0,05$).

Según el gráfico 9 el T1 logra obtener en promedio de 40,53 g, probablemente la irradiación con dosis bajas permite obtener mayor peso, en cambio el To y T2 estadísticamente han mostrado ser iguales en peso logrando un promedio de 37,066 g y 36,43 g.

Los estudios realizados por Ramírez *et al.* (2003) dan a conocer que al trabajar con triticale irradiado encontró que generalmente disminuyen en el peso de 1000 semillas al pasar las generaciones de M1 y M2, esto se puede atribuir a efectos físicos detrimentales no heredables, que la irradiación causa en planta M1 y llegan a manifestarse en plantas M2.

El mismo autor menciona que para la generación M3 se va incrementando el peso de 1000 semillas generalmente aumenta con el avance de las generaciones. Por tal razón las mutaciones pueden ser favorables o desfavorables.

En la generación M2 el peso de mil semillas se incrementó con dosis bajas probablemente se podría decir que la irradiación influye favorablemente ya que los granos presentaron mayor peso. Para la dosis de 200 Gy no se incrementó el peso de mil semillas. Como ya se mencionó mientras pasan las generaciones se va incrementando el peso.

6.8. Descripción de individuos a modificaciones morfológicas por efecto de las irradiaciones

▪ Altura de la planta

En la altura de las plantas, con la dosis de 100 Gy se presentó plantas con mayor altura en promedio de 117 cm. Según Cervantes *et al.* (1999) reportaron en cebada que la aplicación de radiación recurrente aumento la altura de planta. Se presentaron dos plantas diferentes con respecto a la altura (Figura 7).

La irradiación a dosis de 200 Gy causo efecto en la reducción de altura de las plantas en promedio de 47,5 cm. Según Castillo y Robles (1986) mencionan que la altura de dos variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) disminuye al irradiar la planta con una dosis alta. Se presentaron 18 plantas pequeñas diferentes a las demás plantas con respecto a la altura.



Figura 7. Altura de planta

- **Hojas**

Durante la evaluación en campo también se observaron modificaciones en las hojas, como ser el enrollamiento de las hojas en los tratamientos T1 con 16 plantas y el T2 con 9 plantas modificadas en las hojas (Figura 8).



Figura 8. Hoja enrollada del cultivo de trigo generación M2.

En la figura 8 se puede observar la forma que presentó la hoja del cultivo de trigo a causa de la irradiación no todas las plantas presentaron estos cambios morfológicos en la hoja.

En el estudio también se observó cambios morfológicos, presentando una decoloración de las hojas (ausencia de la clorofila), como se muestra en la figura 9 en el borde de la hoja presenta una decoloración solo en una hoja de planta no en toda la planta. Según Gómez (s.f.) reportó que el trabajo que realizó en cebada encontró la ausencia de clorofila en las hojas.

Estos cambios de decoloración de las hojas se presentaron solo en dos plantas en la dosis de 100 Gy.



Figura 9. Decoloración de la hoja

También se observó en campo hojas quebradas como se observa en la figura 10 donde en ambos extremos de la hoja se encuentra partida y en el envés de la hoja en el borde existe una decoloración.



Figura 10. Hoja quebrada en los extremos

- **Espigas**

De la misma manera que en las demás características, para las espigas de las plantas se observaron cambios ocasionados por la radiación, en este caso se evidencio que existían espigas con mayor longitud, espigas sin aristas, con mayor y menor número de granos (grafico10).

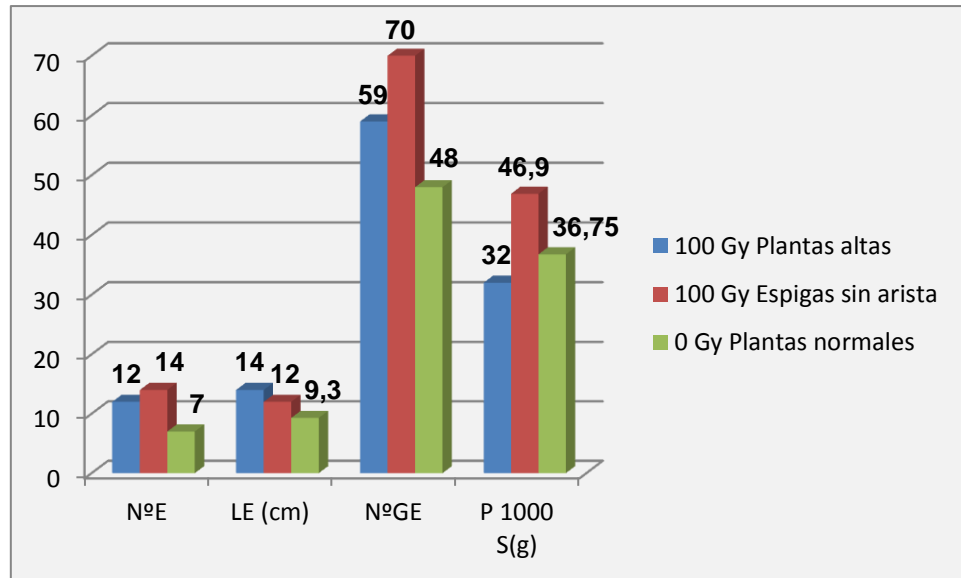


Gráfico 10. Plantas mutantes y plantas del tratamiento testigo, (NºE = número espigas, LE = longitud de la espiga, NºGE= número de granos por espiga y P= peso de mil semillas)

Las plantas que presentaron modificaciones en las espigas, se observaron el incremento de la longitud de las espigas con un promedio de 14 cm en la dosis de 100 Gy, por otro lado para el número de granos por espiga se obtuvieron 59 granos, en este caso la longitud de las espigas fue mayor pero se obtuvieron menor cantidad de granos, probablemente esto se debió a que los entrenudos de la espiga se encontraban muy alejados uno del otro que redujo el número de granos por espiga.

También se pudo evidenciar para el peso de las 1000 semillas, se obtuvieron un promedio de 32 g, probablemente esto se debió a que los granos resultaron ser pequeños y con un menor peso con respecto a las demás plantas.

También se presentaron espigas sin aristas en la dosis de 100 Gy que obtuvieron mayor número de espigas con un promedio de 14 espigas por planta, mayor peso con un promedio de 46,9 g, mayor número de granos por espiga con un promedio de 70 granos por espiga, se observó en la planta que presentaba buenas características

cuantitativas, ya que esto resultaría ser beneficioso para obtener plantas con un buen rendimiento (figura 13).



Figura 11. A) Espiga con arista y B) espiga sin arista de la dosis de 100 Gy

Como se presenta en la figura 11 el efecto que causa la irradiación en las plantas se puede observar las diferencias que existen en las espigas como ser la ausencia de las aristas en las espigas esto en la dosis de 100 Gy solo se presentó esto en tres plantas.

También se observó en campo una espiga con entrenudo largo como se presenta en la figura 12 la presencia de un entrenudo del raquis mucho más largo que los demás; este entrenudo aparece en el tercio inferior de la espiga.



Figura 12. Espiga con entrenudo largo

- **Plantas precoces**

En la evaluación en campo se observó que existían plantas que llegaron a la madurez fisiológica antes que las demás plantas. Como se presenta en el gráfico 11 las plantas que llegaron antes a su madurez fisiológica fueron para ambas dosis, pero la diferencia está en el número de plantas, la mayor cantidad de plantas precoces que se obtuvieron fue en la dosis de 200 Gy logrando 72 plantas en promedio. Para la dosis de 100 Gy se obtuvieron solo 41 plantas en promedio.

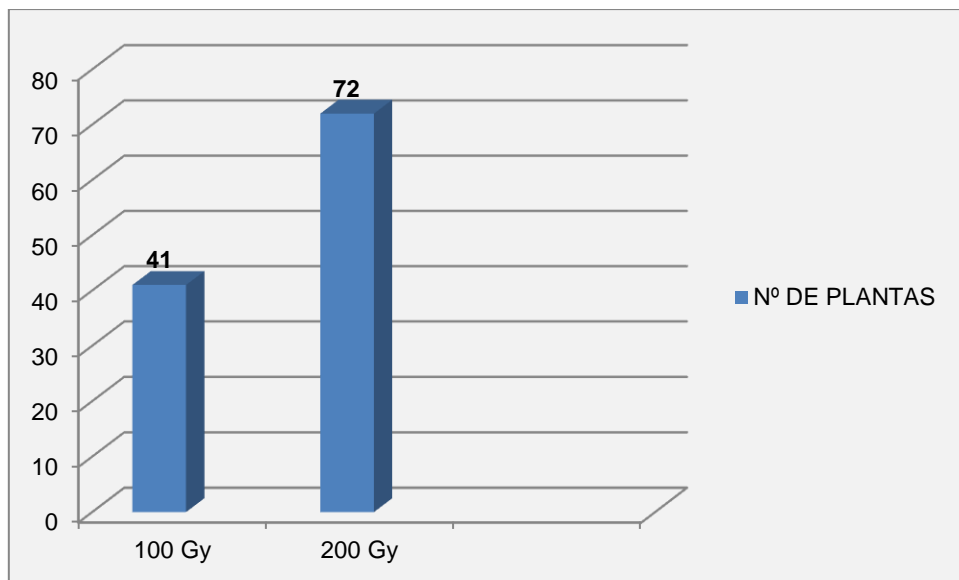


Gráfico 11. Número de plantas precoces

La cosecha se realizó a los 4 meses aproximadamente. Los resultados obtenidos en el estudio, tienen relación con lo determinado por Reyes (2004) quien encontró que a dosis de 150Gy en trigo, el 45% de los mutantes presentaron precocidad frente al testigo, y a dosis de 250Gy fue el 70.29%.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación y con los resultados obtenidos se llega a concluir que el uso de la irradiación con diferentes dosis en las semillas del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en condiciones de campo muestra un efecto favorable.

- Se seleccionó plantas que presentaron diferentes características morfológicas y agronómicas en los tratamientos T1 (100 Gy) y T2 (200 Gy) con respecto al tratamiento testigo.
- Con respecto a las modificaciones morfológicas se presentaron en ambas dosis de irradiación seleccionando plantas como ser: el enrollamiento de las hojas, raquis largo en la espiga, hoja quebrada y solo para la dosis de 100 Gy se presentó espigas sin arista, ausencia de clorofila en las hojas y en las características fisiológicas se presentaron plantas con mayor precocidad para ambas dosis de irradiación con respecto al tratamiento testigo.
- Los caracteres que más incrementaron su expresión fenotípica al utilizar semillas irradiadas a una dosis de 100 Gy en la generación M2 fueron la altura de planta, el número de espigas por planta, la longitud de las espigas, el número de granos por espigas, el peso de 1000 semillas y con la dosis de 200 Gy no se logró incrementar para estas variables.
- En cuanto a la espiga sin arista resulto tener buenas características en la planta con respecto al peso, en grano y en número de espigas por planta, que logro en peso de mil semillas fue de 46,9 g haciendo una simple comparación con el testigo que solo logro en peso de 36,75 g se podría decir que esta planta mutante probablemente sea superior al testigo con los resultados obtenidos en campo.

- Con una dosis de 200 Gy para la variable de días a la cosecha fue favorable ya que resultó ser precoz en 15 días con respecto a los dos tratamientos planteados.
- En cuanto al rendimiento, con una dosis de 100 Gy se incrementó el rendimiento de grano de 2253,79 kg/ha que fue mayor, esto probablemente se debió al aumento del número de tallos por planta, número de granos por espiga, espigas con mayor longitud en comparación al T2 que obtuvo un rendimiento de 1830,80 kg/ha y el T0 que obtuvo un rendimiento de 1767,68 kg/ha.

8. RECOMENDACIONES

Con respecto a los resultados obtenidos y las conclusiones realizadas en el presente estudio de investigación se llega a las siguientes recomendaciones:

- Continuar la investigación hasta la generación M6, para obtener una nueva variedad de trigo con buenas características.
- Se debe seguir trabajando con las plantas seleccionadas en esta generación M2 y evaluar la resistencia a enfermedades, seleccionando plantas resistentes en cultivo de trigo, como ser aquellas que se manifiestan con mayor frecuencia como ser el carbón volador, en el altiplano boliviano, porque durante el estudio realizado el cultivo no presento enfermedades.
- Extender los estudios realizados en las semillas de 100 Gy para las siguientes generaciones, ya que resulto tener un buen rendimiento que logro 2253,79 Kg/ha a diferencia de los demás tratamientos que solo lograron 1830,80 Kg/ha esto para el T2 y 1767,68 Kg/ha para el testigo.
- También se debe seguir trabajando con las semillas de 200 Gy en las siguientes generaciones, porque resulto ser precoz por 15 días a diferencia de los demás tratamientos
- En este trabajo de investigación no se evaluó la variable de la calidad del grano, por tal razón se recomienda trabajar con esta variable que implica el porcentaje de gluten, peso hectolítrico, contenido de humedad y contenido de proteína.

9. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, P. O.; IGLESIAS, L.; LUNA, M.; BELLO, A., 2013. Efecto hormético de la radiación ionizante. (en línea). Consultado el 24 de abril. 2016. Disponible en: <http://www.efecto-hormetico-radiacion-ionizante.pdf>

AGUILAR, M., 2013. Selección *in vitro* de genotipos mutantes de papa de la variedad sani negra (*Solanum tuberosum* L. ssp. *andigena* h.) tolerantes a estrés salino por efecto de la irradiación con luz ultravioleta (uv tipo c). Tesis Lic. La Paz, BO: UMSA. 52-53p.

ANAPO. (Asociación de Productores de Oleaginosas Trigo), 2008. Departamento Técnico y Servicios. Estadísticos de la evolución de la superficie, rendimiento, producción y precio del cultivo de trigo en Santa Cruz. 15-20 p.

ANDRADE, F. H. O., 1999. Ecofisiología del cultivo de trigo, Balcarce, AR. Editorial Medica Panamericana S.A. 292 p

ARGUMEDO, K. 2013. Inducción de mutaciones en trigo (*Triticum turgidum* spp. *durum*) selección Arequipa empleando rayos gamma. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima, Perú. 57 p.

BRUNNER, H., 1995. Radiation induced mutations for plant selection. Plant Breeding Unit. Joint FAO/IAEA.

BUTNARU, G., 1990. Aspects concerning mutagenesis in triticale. *In*: Proc. Second Int. Triticale Symp. CIMMYT. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil. pp: 154- 156p.

CALDERÓN, R.; CERVANTES, S.; LOPEZ, C., 2003, selección para componentes del rendimiento de grano en triticale irradiado. Agrociencia. Colegio de postgraduados. Volumen 37, México. 8-10p.

CARRETERO, R.; serrano, r.; millares, d. 2007. Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo. Universidad de Buenos Aires- Argentina. 268p.

CIAT. (Centro Investigación de agricultura Tropical), 1998. Recomendaciones prácticas para el cultivo de trigo. Santa Cruz, Bolivia. 15-17 p.

CIMMYT, (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1991. Hechos y Tendencias mundiales relacionadas con el trigo. Edición completamente revisada. MX.D.F. 97 p.

CERVANTES, S. T.; CASTILLO, F. G.; DOMINGUES, C. E., 1999. Cambios en la media y varianza de caracteres cuantitativos de cebada por irradiación recurrente. Agrociencia. 33-259p.

CUBERO, J. I., 2003. Introducción a la mejora genética vegetal; 2º edición. Ed. Ediciones. Mundi- prensa. Madrid. España.

GARCÍA, M., 2005. Perfil descriptivo de la cadena de trigo. Secretaria de Agricultura, Ganadería Pesca y alimentos. República de la Argentina.18-20 p.

GONZALES, M. C.; MUKANDAMA,J. P.; ALÍ,M. M. y TRUJILLO,D.; 2009, DOMI: Mutante de Tomate de Doble Propósito obtenido mediante la Inducción de Mutaciones con Rayos Gamma de Co-60; Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA); La Habana – Cuba.

GONZÁLEZ, L. M.; ARGENTEL, L.; ZALDIVAR, N. y RAMIREZ, R. 1997, Mejoramiento genético en arroz para la tolerancia a la salinidad a través de la radióinducción de mutantes. Instituto de investigaciones agropecuarias “Jorge Dimitro”, Granma, Cuba. Instituto de investigaciones fundamentales en agricultura tropical “Alejandro de Humboldt” Ciudad de la Habana, Cuba.

GONZALES, L., M.; RAMÍREZ, R.; LICEA, L.; GARCÍA, B.; PORRAS, E., 2002. Incremento de la tolerancia a la salinidad en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), mediante el tratamiento de semillas con rayos X. *alimentaria*.109-112p.

GÓMEZ, P., 2007, de tales panes tales harinas. 1ra edición. Córdoba – Argentina. Ed. Lit. 17p.

GUTIERREZ, A.; SANTACRUZ, F.; CABRERA, J. y RODRÍGUEZ, B. 2003. Mejoramiento genético vegetal *in Vitro*. e-Gnosis (México). V.1. 1-19p.

GUZMÁN, E. 1996. Genética Agropecuaria. Ed. Trillas, 1ra Edición. México D.F. 23-26p.

GUSTAFSSON, 1964. El hombre acelera el ritmo de la naturaleza. *Scientific American*. 23 p.

HERNÁNDEZ, A. M., R.; RODRÍGUEZ, D. y E. DE LA CRUZ, T., 1994. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en caracteres agronómicos de dos variedades de cebada maltera (R2M). Informe técnico IA - 94. ININ. México.

IAEA.org, International Atomic Energy Agency, 2008. Radiaciones para provocar mutaciones en los alimentos. Vienna, Austria.

IAEA, Manual on Mutation Breeding. International Atomic Energy Agency. 1995. Technical Reports. Series N 119. Vienna. 33 - 42p.

IRFAQ, M. y NAWAB, K. 2001. Effect of gamma irradiation on some morphological characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *On Line Journal of Biological Sciences* 1 (10): 935-937p.

GONZÁLEZ, J.; GÓMEZ, P., 2005. Determinación de dosis optimas de radiación para el mejoramiento de Seudocereales. Oaxaca México. XVI congreso anual de la SNM.

JOBET, F., 2011. Proyecto de desarrollo de implementación de trigo. Fundación Chile. (en línea). Consultado el 4 de febrero, 2016. Disponible en: <http://www.fundacionchile.trigo.com>

LOPEZ, B., 1991. Cultivos herbáceos. Cereales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba. Edición. Mundi- Prensa. 189p.

LLANOS, D. M., 2013. Evaluación del efecto de la irradiación con rayos gamma (cobalto-60) en tres líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis de Lic. La Paz, Bo: UMSA. 32-42p.

MAMANI, F., 2012. Determinación de la dosis de radiación gamma para la inducción de mutaciones en variedades comerciales de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis de Lic. La Paz, Bo: UMSA. 25-26 p.

MILLER, T., 1992. Estadios del crecimiento del cultivo de trigo. (en línea). Texas. Consultado 24 de mayo. 2016. Disponible en <http://www.estadiofeekes.pdf>

MILTON, P., 1986. Mejoramiento genético de las cosechas. Universidad De Missouri. 1ra edición. Limusa. México. 123 p.

MONTOYA, M., 2007. Energía Nuclear en el Perú, Ed. Centro de preparación para la ciencia y Tecnología CEPRECYT. Lima Perú. 131p.

MUÑOZ, V. S.; LÓPEZ, J.C.M., 1989. Efecto de dosis bajas de irradiación gamma ^{60}Co en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) II Seminario Nacional Uso de la Irradiación en Fitomejoramiento. ININ. México. 61 – 74 p.

OCHOA, R. 2009. Diseños experimentales. 1^a. Ed. La Paz, Bolivia. 188 p.

PALACIO, C. 2006. Sanidad de cultivos. Informe técnico sanitario N° 3. SIEF. INTA Venado Tuerto. 29p.

PARTIDA, R. L.; CERVANTES, S. T.; SALAZAR, Z. A.; CASTILLO, M. A.; VELÁZQUEZ, A. T. J.; 2007. Selección para contenido de proteína y rendimiento de grano en trigo irradiado recurrentemente. Inter-ciencia. (en línea). Consultado el 19 de junio, 2016. Disponible en: <http://www.selec-trigo.irradiado.inter-ciencia>.

POEHLMAN, J. G., 1983. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa, México, D.F. 173 – 195 p.

QUINTEROS, R., 2012. Evaluación de semilla de seis variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Irradiadas con tres dosis de rayos gamma cobalto 60 (Co-60) en condiciones controladas. Tesis Lic. La Paz, BO: UMSA. 13p.

RANGEL, U., S.F. aplicación de la irradiación gamma. (en línea). Consultado el 24 de abril, 2016. Disponible en: <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/>.

RAMÍREZ, C. J.; CERVANTES, S.; VILLASEÑOR, M.; HÉCTOR, E.; LÓPEZ, C.; 2003, selección para componentes del rendimiento de grano en triticale irradiado. (en línea). Consultado el 15 de junio. 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v25n3/v25n3a2.pdf>.

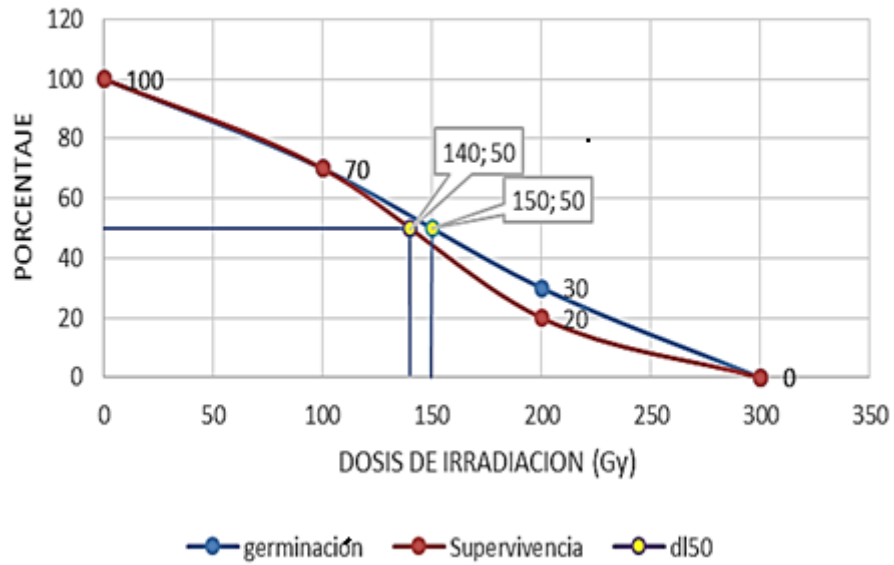
REA, J., 1969. Biología floral de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Turrialba.

REYES, V. 2004. Evaluación de la variación genética en la generación M3 de *Triticum turgidum* ssp. *durum* var. Taray desarrollado mediante la aplicación de rayos gamma. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo. Lima, Perú. 91 p.

- ROBLES, S., 1991. Genética elemental y fitomejoramiento. México, Limusa. 400-401 p.
- RIMACHE, A., M. 2008. Colección de cereales: trigo, cebada y avena. 1ra Edición. Perú. Edt. Macro E.I.R.L. 10 p.
- SADAO, I. 1975. Apuntes de mutagénesis. Apuntes de post graduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 39 p.
- SALMERÓN, E. J., M.; VALENCIA, M.; CERVANTES, S., 1994. Avances en la selección para rendimiento de grano en soya 1SAAEG – DK irradiada con Co60 en forma recurrente. Resúmenes. IV Seminario Nacional sobre el Uso de la Irradiación en Fitomejoramiento. M; rin. U. I. México.
- SÁNCHEZ G, J. L. 2005. La Mutación e información celular. Editorial Alpires. Ciudad de México-México. 10 p.
- SANEEN, P. S., 1988. Efecto de irradiación recurrente de rayos gamma 60Co en trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre el número de tallos por planta. Tesis. UACH. México.
- SENAMHI, 2013. Estadísticas mensuales. Disponible en Senamhi.gob.bo.
- SERNAC, (Servicio Nacional del Consumidor). 2010. Santiago, Chile (en línea). Consultado el 7 de abril. 2016. Disponible en: <http://www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=892>.
- SlideShare. Gramíneas del genero *Triticum*. (en línea). Consultado 7 de julio. 2016. Disponible en: <http://es.slideshare.net/elpabo.granada/trigo-13>
- VEGA, M., 1994. Evaluación de la radiación recurrente con gammas de co-60 sobre variables agronómicas de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) en la generación R1M1. Tesis Lic. Toluca, México. UAEM. 32p.

ANEXOS

Anexo 1. Calculo de la dosis letal media en la primera generación M1 evaluación en laboratorio



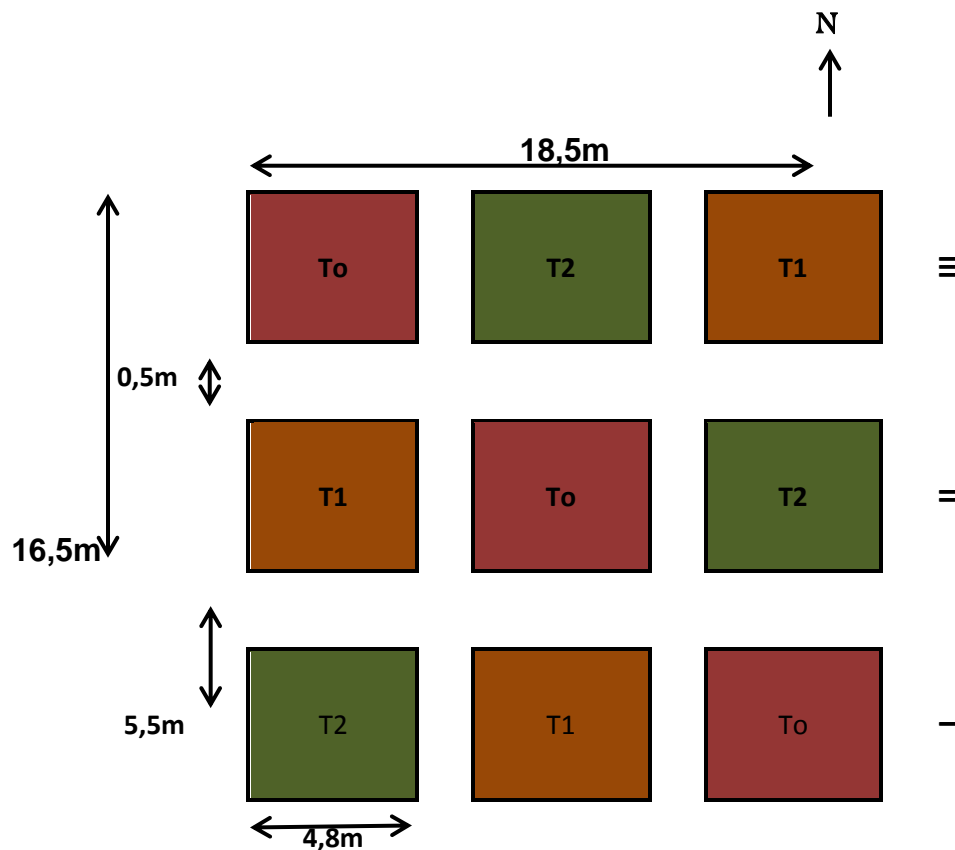
Anexo 2. Análisis de varianza para germinación y supervivencia generación M1

ANOVA				
Evaluación	Fcalc.	Pr>F	CV%	S
Germinación	12,86	0,007	5,143	**
Supervivencia	63,36	0	11,8	**

Anexo 3. Análisis de varianza para longitud y peso de espiga; peso y número de granos para la generación M1

ANOVA				
Evaluación	F _{calc.}	Pr>F	CV%	S
Longitud de espiga	15,433	0,000	12	**
Peso de espiga	6,507	0,003	18	*
Peso de grano	6,6	0,003	15	*
Nº de granos	136,203	0,000	10	**

Anexo 4. Croquis del experimento para la generación M2



Anexo 5. Comparación de medias para el porcentaje de germinación

Tratamientos	Porcentaje de germinación (%)	Duncan 5%
To (0 Gy)	70	A
T1 (100 Gy)	68	A
T2 (200 Gy)	57	B

Anexo 6. Comparación de medias para la altura de planta

Tratamientos	Altura (cm)	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	75,3	A
To (0 Gy)	67,6	A B
T2 (200 Gy)	63,3	B

Anexo 7. Comparación de medias para el número de espigas por planta

Tratamientos	Nº de espigas por planta	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	9	A
To (0 Gy)	7	B
T2 (200 Gy)	6	B

Anexo 8. Comparación de medias para el número de días al espigamiento

Tratamientos	Días al espigamiento	Duncan 5%
To (0 Gy)	83	A
T2 (200 Gy)	77	B
T1 (100 Gy)	76	B

Anexo 9. Comparación de medias para longitud de la espiga

Tratamientos	Longitud de la espiga (cm)	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	10,7	A
To (0 Gy)	9,3	B
T2 (200 Gy)	8,9	B

Anexo 10. Comparación de medias para el número de granos por espiga

Tratamientos	Nº de granos por espiga	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	64	A
To (0 Gy)	49	B
T2 (200 Gy)	48	B

Anexo 11. Comparación de medias para el número de días a la cosecha

Tratamientos	Días a la cosecha	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	179	A
To (0 Gy)	179	A
T2 (200 Gy)	164	B

Anexo 12. Comparación de medias para el rendimiento

Tratamientos	Rendimiento (Kg/ha)	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	2253,79	A
T2 (200 Gy)	1830,80	B
To (0 Gy)	1767,68	B

Anexo 13. Comparación de medias para el peso de mil semillas

Tratamientos	Peso de 1000 semillas (g)	Duncan 5%
T1 (100 Gy)	40,53	A
To (0 Gy)	37,066	B
T2 (200 Gy)	36,433	B

Anexo 14. Semillas irradiadas de trigo



Anexo 15. Colocado de letreros en cada unidad experimental



Anexo 16. Semillas germinadas



Anexo 17. Área de investigación



Anexo 18. Espiga sin arista



Anexo 18. Características cuantitativas de plantas mutantes y plantas normales

características de las plantas	DOSIS		
	100 Gy		0 Gy
	Plantas altas	Espigas sin arista	Plantas normales
Nº De E.	12	14	7
L.E. (cm)	14	12	9,3
Nº De G.E.	59	70	48
P. 1000 S. (g)	32	48	36,75

Anexo 19. Cambios ocasionados por la radiación en las hojas



Anexo 20. Trigos del estudio trillados para ser venteadas



Anexo 21. Rendimiento de trigo de los tres tratamientos

