

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**



**“DOSIMETRÍA DE RAYOS GAMMA PARA LA INDUCCIÓN DE
MUTACIÓN EN CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)”**

Presentada por:

MAYELA ELIZABETH MAYTA ANCO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

Lima – Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**

**“DOSIMETRÍA DE RAYOS GAMMA PARA LA INDUCCIÓN DE
MUTACIÓN EN CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MAYELA ELIZABETH MAYTA ANCO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. María Lourdes Tapia y Figueroa
PRESIDENTE

Dra. Luz Gómez Pando
PATROCINADOR

Dr. Jorge Jiménez Dávalos
MIEMBRO

Mg. Sc. Julián Chura Chuquiya
MIEMBRO

Con todo mi amor para mi hija Isabela que es la fuente de mi motivación y superación profesional.

A mi madre por su motivación, invaluable apoyo, estímulo y confianza hacia mí.

A **Dios** por ser lámpara a mis pies y lumbrera a mí camino, fuerza y valentía en los momentos difíciles, conductor de mí destino, esperanza viva de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Dra. Luz Gómez Pando, consejera y patrocinadora de la tesis, por la valiosa orientación, quien supo orientarme en forma acertada en el planeamiento y desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Jorge Jiménez Dávalos, por su apoyo y amistad gracias siempre gracias.

A la Dra. Lourdes Tapia Y Figueroa, por su invaluable apoyo que hizo posible la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Raúl Humberto Blas Sevillano por su valiosa enseñanza que hizo posible la culminación de mis estudios de Maestría.

Al Ing. Jorge Espinoza por haberme apoyado en el financiamiento de mis estudios.

A la Sra. Ruth por sus consejos y apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que cooperaron en la elaboración de la presente Tesis.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivos	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Origen e historia	4
2.2	Evolución de la producción de cañihua	4
2.3	Posición Taxonómica	8
2.4	Descripción botánica	9
2.5	Diversidad Genética	12
2.6	Valor nutricional	20
2.7	Generalidades sobre mutaciones	21
2.8	Tipos de mutaciones	22
2.9	Agentes mutagénicos	25
2.10	Mutágenos físicos	27
2.11	Dosis	28
2.12	Factores que intervienen en la eficiencia del agente	29
2.13	Efecto de las mutaciones sobre el material vegetal	29
2.14	Utilización de la mutagénesis inducida en la mejora	29
2.15	Mejoramiento genético por inducción de mutaciones en especies cultivadas	31
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1	Materiales	37
3.2	Metodología	38
3.3	Labores culturales	39
3.4	Evaluaciones	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1	Generación M ₁	41
4.2	Generación M ₂	52
V.	CONCLUSIONES	59
VI.	RECOMENDACIONES	60
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXOS	
	Anexo 1	69

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Superficie, producción y rendimiento de cañihua (Puno, Cusco, Arequipa). Año 2008 y 2013	7
Cuadro 2.	Distritos de mayor diversificación y área cultivada de cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) en la Región Puno - Perú	12
Cuadro 3.	Principales ecotipos de cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) colectados en ferias rurales	13
Cuadro 4.	Composición química de los granos de tres cultivares de cañihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i> A.)	19
Cuadro 5.	Relación de Agentes Mutagénicos empleados en Inducción de Mutaciones de Plantas	26
Cuadro 6.	Valores de cuadrados medios y significancia del análisis de varianza del porcentaje de germinación en bandejas	42
Cuadro 7.	Valores promedios y prueba de significación Tukey del porcentaje de germinación	43
Cuadro 8.	Análisis de varianza del porcentaje de supervivencia de la generación M1 de cañihua	44
Cuadro 9.	Valores promedios y prueba de significación Tukey del porcentaje de supervivencia	44
Cuadro 10	Análisis de varianza para altura de plántula de la generación M1 de cañihua	45
Cuadro 11	Valores promedio y prueba de significación Tukey para altura de planta de la generación M1 de cañihua	46
Cuadro 12	Análisis de varianza para porcentaje de germinación de la generación M1 de cañihua	46
Cuadro 13	Valores promedios y prueba de significación Tukey para el porcentaje de germinación de la generación M1 de cañihua	47
Cuadro 14	Análisis de varianza para porcentaje de supervivencia de la generación M1 de cañihua	48
Cuadro 15	Valores promedios y prueba de significación Tukey para el porcentaje de supervivencia de la generación M1 de cañihua	49

Cuadro 16	Análisis de varianza para altura de planta de la generación M1 de cañihua	50
Cuadro 17	Valores promedios y prueba de significación Tukey para altura de planta de la generación M1 de cañihua	50
Cuadro 18	Análisis de varianza para rendimiento/tratamiento de la generación M1 de cañihua	51
Cuadro 19	Valores promedio y prueba de significación Tukey para rendimiento7tratamiento de la generación M1 de cañihua	52
Cuadro 20	Espectro de mutaciones candidatas identificadas en la población M2 de cañihua	57
Cuadro 21	Frecuencia de mutaciones observadas en la población M2 de cañihua	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de Centros de Producción de Cañihua en el departamento de Puno	5
Figura 2.	Tipos de mutaciones génicas	24
Figura 3.	Diagrama de la mejora genética de Kiwicha con irradiación de rayos gamma del Programa de Cereales de la UNALM	35

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Serie histórica de la superficie cosechada (ha) y rendimiento de cañihua (kg/ha), Perú. Periodo 1993-2013	6
Gráfico 2.	Porcentaje área cultivada de cañihua en las principales provincias de Puno. Periodo 2013-2014	8
Gráfico 3.	Disminución de superficie cultivada en la provincia de Melgar-Puno	15

INDICE DE FOTOS

Foto 1.	Planta de crecimiento erguido; cañihua “Saiwa”	9
Foto 2.	Planta de crecimiento semierguido; cañihua “Lasta”	9
Foto 3.	Planta de crecimiento postrado; cañihua “Pampa Lasta”	9
Foto 4.	Raíz pivotante con escasa ramificación principal	10
Foto 5.	Hojas con Oxalato de Calcio	11
Foto 6.	Granos de cañihua	11

Foto 7.	Cultivar Cupi	17
Foto 8.	Cultivas Ramis	18
Foto 9.	Cultivar Illpa Inia	19
Foto 10.	Testigo: forma de la lámina foliar ancha ovalada	53
Foto 11.	Fasciación tipo 1	53
Foto 12.	Fasciación tipo 2	54
Foto 13.	Fasciación tipo 3	54
Foto 14.	Comparación del tamaño de hoja con respecto al testigo sin irradiar	55
Foto 15.	Planta con mayor tamaño de hojas	55
Foto 16.	Comparación del ciclo de vida con respecto al testigo sin irradiar	56
Foto 17.	Planta vigorosa	56

Resumen

La utilización de mutaciones inducidas en el mejoramiento genético de las plantas requiere una previa determinación de la dosis que induce a mutaciones en una variedad de una especie. Por esta razón, el presente experimento, tuvo como objetivo determinar la dosis de irradiación de rayos gamma para inducir mutaciones en cañihua, una especie nativa de la región andina considerada valiosa por su valor nutritivo y adaptación a zonas marginales. Semillas secas de cañihua variedad ILLPA fueron irradiadas con cinco dosis de rayos gamma: 100, 200, 300, 400 y 500 Gy. Las evaluaciones del efecto de la radiación fueron realizadas en dos generaciones M1 y M2. En M1 se midió el comportamiento fisiológico (germinación, supervivencia y altura de planta) y en M2 el efecto genético (mutaciones: fasciación, tamaño de hoja, vigor y ciclo de vida). En la generación M1 se observó en general una reducción en los valores de los caracteres evaluados a medida que la dosis se incrementa. Se observó retardo en el proceso de germinación y una disminución de plántulas germinadas por el efecto del tratamiento mutagénico de 94% a 55%, en el testigo y la dosis de 500 Gy. La supervivencia varió de 90% a 8.33%, en el testigo y en la dosis de 500 Gy; así mismo la altura de plántula varió de 3.83 cm a 21.57 cm en la dosis de 500 Gy y en el testigo. Similar efecto se apreció en condiciones de campo donde se encontró valores de porcentaje de germinación promedio que varió de 17.00% a 81.33% en la dosis de 500 Gy y el testigo. El porcentaje de supervivencia varió de 5.33% a 81.33% para la dosis de 500 Gy y el testigo. La altura varió de 12 cm a 62.00 cm para la dosis de 500 Gy y el testigo. En la generación M2, se verificó que las 5 dosis de rayos gamma indujeron mutaciones en la cañihua. Todas las dosis dieron lugar a un espectro similar en tipo de mutaciones en un mayor vigor de plantas, tamaño de hoja, periodo vegetativo y fasciación, predominando esta última. Finalmente, se identificaron un total de 139 plantas como mutantes candidatos, de las cuales 90 presentaron un mayor vigor de planta, 11 con mayor tamaño de hoja; 17 con ciclo de vida más largo y 21 plantas con mutaciones de tipo fasciación.

Palabras claves: cañihua, *Chenopodium pallidicaule*, rayos gamma, mutaciones

Abstract

The genetic improvement by induced mutations requires to determine the exact dose for each variety or a plants species. The objective of this experiment was to determine the dose of gamma irradiation to induce mutations in cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), a valuable native plant species from the Andean region because of its nutritional content and adaptation to marginal areas. Dry seeds of cañihua ILLPA variety were irradiated with five doses of gamma rays (100, 200, 300, 400 and 500 Gy). Results in M1 generation produced delay germination process and reduction on number of seedling by effect of mutagenic treatment from 94% to 55% at the control treatment and 500 Gy dose, respectively. Survival ranged from 90% to 8.33% at the same treatments either. Seedling height varied from 3.83 cm to 21.57 cm at 500 Gy dose in compared to control. Under field conditions, similar effect was on percentage of germination varying from 17.00% to 81.33%, the survival rate from 5.33% to 81.33% and plant height from 12.00 cm to 62.00 cm at the 500 Gy dose of and the control, respectively. In the M2 generation, all five doses of gamma rays induced mutations in cañihua. All doses resulted in a similar type of mutations spectrum such as change on leaf size, altering growing cycle and fasciation, predominating the latter one. In conclusion, a total of 139 plants were identified as mutant candidates, from which 90 had higher plant vigour, 11 increased leaves size; 17 longer life cycle and 21 plants with fasciation mutations type.

Keywords: cañihua, *Chenopodium pallidicaule*; Gamma Rays; mutations

I. INTRODUCCIÓN

La cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es una especie que durante cientos de años y que ha sido de gran relevancia para la alimentación de los pobladores de la región andina. Sin embargo, su cultivo perdió importancia con la introducción y cultivo de otras especies introducidas por los españoles. Su área cultivada se restringió al Altiplano Peruano-Boliviano, sembrándose en Perú, en un rango de 2086 a 7240 has en el periodo 1990 al 2013. Se cultiva en las zonas altas de Arequipa, Cusco y el Altiplano de la Región Puno, a altitudes de 3812 a 4100 msnm.

Actualmente, está siendo revalorada por la calidad de su proteína y por su composición química superior a los cereales; especialmente en su contenido de calcio y magnesio. La cañihua puede ser fuente importante de componentes funcionales como las fibra dietarias y compuestos fenólicos. Por otro lado, también está siendo revalorada por su rusticidad y su alta tolerancia a la sequía y otros factores estresantes abióticos. Estas cualidades la convierten en una alternativa valiosa para zonas áridas; la escasez de agua es un factor limitante importante para la agricultura y que se irá agudizando en el futuro como efecto del cambio climático.

Valdivia & Soto (2002) indican que se requieren de estudios en el campo nutricional para conocer su potencial real, para su mejor aprovechamiento en la industria y en el campo de la genética, agronomía y otros. Los estudios de cañihua, en forma limitada, han sido realizados mayormente en el Altiplano Peruano.

Para Ruiz (2003) su cultivo se realiza con tecnologías tradicionales, las mismas que se traducen en bajos rendimientos; y por lo tanto, baja rentabilidad o niveles mínimos de ingresos económicos a los agricultores dedicados al cultivo de cañihua. Una de las razones de estos bajos rendimientos es la falta de variedades mejoradas. A pesar de ser el Altiplano Perú-Bolivia, el centro de origen de esta especie y contar con gran variabilidad genética y

morfológica, no se cuenta con variedades comerciales que satisfagan las expectativas de los agricultores y la agroindustria.

La cañihua, entre los granos nativos de la región andina es la especie en la que se ha trabajado menos en Mejoramiento Genético debido a que no ha alcanzado la difusión e importancia económica de la quinua y la kiwicha. Se debe iniciar un programa de mejora del cultivo con miras a mejorar sus caracteres morfológicos, fisiológicos, respuesta a estreses bióticos y abióticos y calidad de tal forma de que los agricultores cuenten con nuevas variedades mejoradas e incrementen la productividad de sus campos que les dará beneficios como contar con mayor cantidad de alimentos y tener excedentes para la comercialización.

El desarrollo de variedades puede lograrse empleando diferentes metodologías tales como selección masal, selección individual, hibridaciones y mutaciones. Existen diferentes informes que señalan el empleo de las mutaciones en el mejoramiento de especies nativas subutilizadas (Ugorji *et al.*, 2012; Udensi *et al.*, 2013; Udensi *et al.*, 2014; Gómez, 2014).

Las mutaciones permiten mejorar caracteres agronómicos y de calidad conservando la combinación genética valiosa existente de las variedades locales, entre ellos la adaptación, calidad y otros. Además de ello, las mutaciones, pueden generar nueva diversidad genética, indispensable para el mejoramiento de los cultivos (Chopra, 2005).

Las mutaciones son al azar y el valor de las mutaciones dependerá de los cambios producidos en la morfología y fisiología de las plantas y que repercuten en forma favorable en el rendimiento y calidad. Por lo que es importante identificar el grado de variación y el tipo de mutación producido en una población desarrollada mediante el empleo de agentes mutagénicos.

En base a lo anteriormente expuesto se realizó la presente investigación que buscó determinar las dosis de radiación gamma que induzcan mutaciones como un paso preliminar al inicio de un programa de mejoramiento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Contribuir al mejoramiento genético de la cañihua.

1.1.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la dosis de rayos gamma que induce mutaciones
2. Identificar el espectro de mutaciones en una población M_2 desarrollada mediante la aplicación de rayos gamma.
3. Determinar la frecuencia de mutaciones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ORIGEN E HISTORIA

Según Tapia (1979) Shervin fue uno de los primeros en diferenciar la quinua de la cañihua en 1908 mientras que el botánico suizo Paul Aellen creó la denominación *Chenopodium pallidicaule* para nombrar a esta especie y probablemente de una muestra de color amarillo en 1929. No existen evidencias arqueológicas relacionadas con esta planta de manera que no se conoce desde que tiempo se cultiva. Se la denomina cañihua (= Kañihua) o cañahua (= Kañawa or cañagua). El primer nombre es propio de las regiones de idioma quechua y la segunda del idioma aymara. Este cultivo parece estar muy relacionado con la cultura Tiahuanaco que se desarrolló en el Altiplano Peruano- Boliviano y donde, actualmente, se encuentra la mayor superficie cultivada de esta especie.

Según Soto *et al.* (2009) la cañihua es una planta nativa de la altiplanicie, originaria de los Andes del Sur del Perú y Bolivia, la cual fue domesticada por los pobladores de la cultura Tiahuanaco, asentados en la meseta del Collao.

Siendo un cultivo nativo del altiplano, es en esta área geográfica donde se encuentra la mayor variabilidad genética, existiendo alrededor de 800 entradas en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA – Puno, 2002) y en la Universidad Nacional del Altiplano UNA –Puno, confirmando con esto su diversidad genética y su origen.

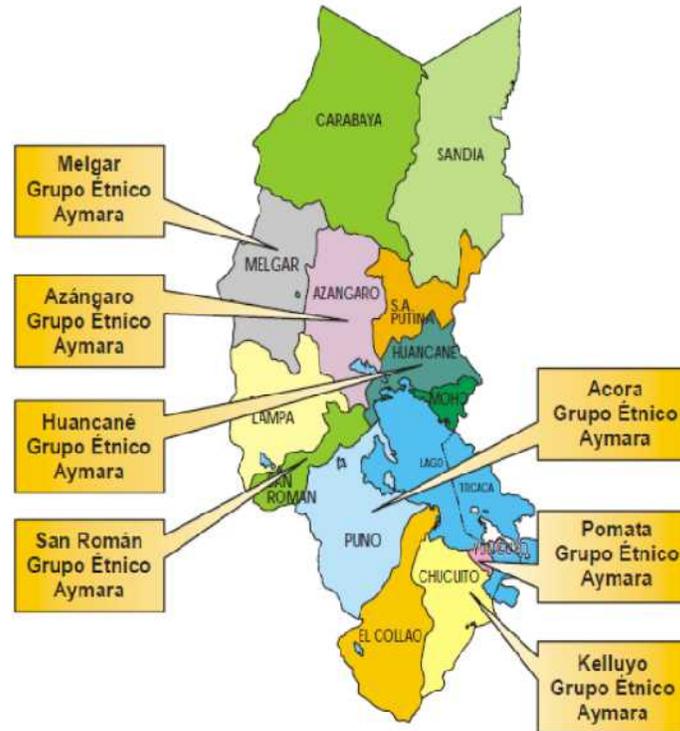
2.2. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑIHUA

2.2.1. Distribución

La cañihua se distribuye en las regiones semiáridas más altas de los andes centrales en Perú y Bolivia, y se considera como una especie olvidada y subutilizada. Está distribuida mayoritariamente en las zonas Suni y Puna húmeda, en altitudes por encima de los 3860 msnm.

La mayor concentración de producción de cañihua se encuentra en el altiplano de la región Puno, principalmente en las provincias de Melgar (Distritos: Llalli, Macari, Ayaviri, Nuñoa), Azangaro, Huancané, San Román, Puno (Distrito: Acora) y Chucuito (Distritos: Pomata y Kelluyo) como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1. Distribución de Centros de Producción de Cañihua en el Departamento de Puno.

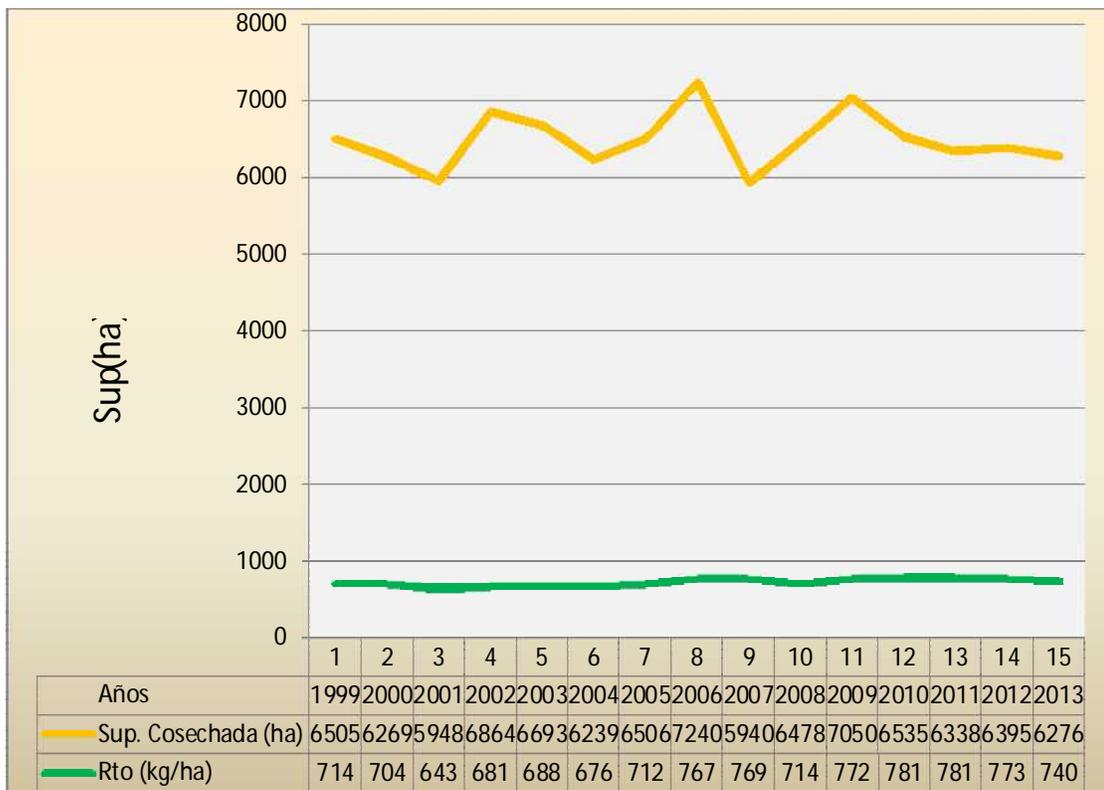


Fuente: Apaza (2010).

2.2.2. Superficie cosechada y rendimiento de cañihua a nivel nacional 1992 a 2013

La superficie cosechada de Cañihua a nivel nacional en los últimos 15 años muestra picos de disminución e incrementos, observándose entre 1999 y el 2013 una disminución de superficie igual al 3.5 por ciento. Por otro lado, el rendimiento se incrementó de 714 kg/ha en el año 1999 a 740 kg/ha en el 2013, como se puede apreciar en el **Gráfico 1**.

Grafico 1. Serie Histórica de la Superficie Cosechada (Ha) y Rendimiento de Cañihua (kg/ha), Perú. Periodo 1999 - 2013



Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego, 2015. Series Históricas.

2.2.3. Superficie cosechada, producción y rendimiento a nivel regional 2004 y 2009

Las regiones productoras de cañihua son los departamentos de Puno, Cuzco y Arequipa. En producción entre 2008 al 2013 se observa una ligera disminución en la región Puno, un incremento en la región Cuzco y Arequipa. Para producción, el año 2013, la Región Puno representa el 92.33 por ciento, Cuzco el 7.4 por ciento y Arequipa el 0.27 por ciento (**Cuadro 1**).

Analizando el **Cuadro 1**, se aprecia que la mayor superficie está localizada en el Departamento de Puno y que existe una tendencia a la reducción en los departamentos de Puno y Cuzco y un incremento en la superficie del Departamento de Arequipa entre el año 2008 al 2013. En el año 2013 el área en Puno representa el 89.14 por ciento, el de Cuzco el 10.65 por ciento y Arequipa el 0.21 por ciento. Valdivia y Soto (2002) explican que la tendencia del cultivo de cañihua es a disminuir, asociada a diversos factores, como la falta

de humedad en el suelo en la época de siembra, dificultad de sus labores de siega y trilla, al desplazamiento por cultivos forrajeros.

Los rendimientos promedios del año 2008 y del año 2013 para Puno fueron de 768 a 767 kg/ha, para Cuzco de 355 a 514 kg/ha y para Arequipa de 959 a 976 kg/ha. (**Cuadro N° 1**).

Cuadro 1. Superficie, producción y rendimiento de cañihua (Puno, Cusco, Arequipa). Año 2008 y 2013

Regiones							
Regiones	2008			2013			% de Produccion
	Sup. Cosec	Produccion	Rdto	Sup. Cosec	Produccion	Rdto	
	(ha)	(t)	(kg/ha)	(ha)	(t)	(kg/ha)	
PUNO	5614	4313	768	5594	4288	767	93.25%
CUZCO	855	303	355	669	344	514	6.55%
AREQUIPA	9	9	959	13	13	976	0.19%
TOTAL NACIONAL	6478	4625	714	6276	4644	740	100.00%

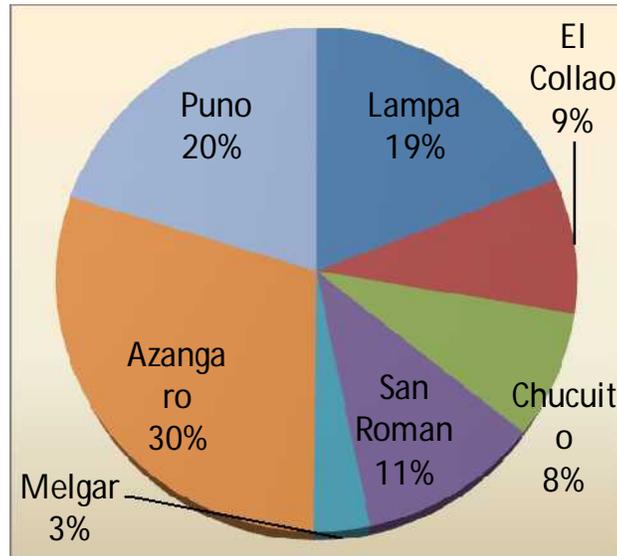
Fuente: Ministerio de Agricultura, 2015.

2.2.4. Superficie Cosechada, rendimiento y producción de cañihua en el Altiplano de la Región Puno

La potencialidad para aumentar la superficie cultivada de cañihua en el altiplano peruano es bastante significativa, ya que existen áreas ecológicamente aptas que se podrían adicionar a las actuales cultivadas, particularmente en las provincias de Melgar, Azángaro, Chucuito y Lampa. El aumento de la productividad sería el factor más importante para expandir la producción y mejorar las condiciones de vida del pequeño agricultor.

El 30 por ciento del área cultivada de cañihua se encuentra en la provincia de Azangaro, seguido de Puno 20 por ciento, Lampa 19 por ciento, San Roman 11 por ciento y El Collao con 9 por ciento. Las siembras comerciales de cañihua se realizan en la provincia de Melgar, pero apenas llega al 3 por ciento, por los problemas asociados con la producción que han hecho que otros cultivos tengan mayores ventajas comparativas (**Gráfico 2**).

Gráfico 2. Porcentaje área cultivada de cañihua en las principales provincias de Puno (Periodo 2013 -2014)



Fuente: Ministerio de Agricultura, 2015.

2.3. POSICIÓN TAXONÓMICA

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Amaranthaceae</i>
Subfamilia:	<i>Chenopodioideae</i>
Tribu:	<i>Chenopodiea</i>
Género:	<i>Chenopodium</i>
Especie:	<i>C. pallidicaule</i>

Nombres comunes

Según Apaza (2010) la cañihua tiene una gran variedad de nombres locales dependiendo de la región, tales como:

- En Perú: “kañiwa”.
- En Bolivia: “Cañahua”.
- Quechua: “kañiwa”, “kañawa”, “kañahua”, “kañagua”, “quitacañigua”, “ayara”, “cuchiquinua”.

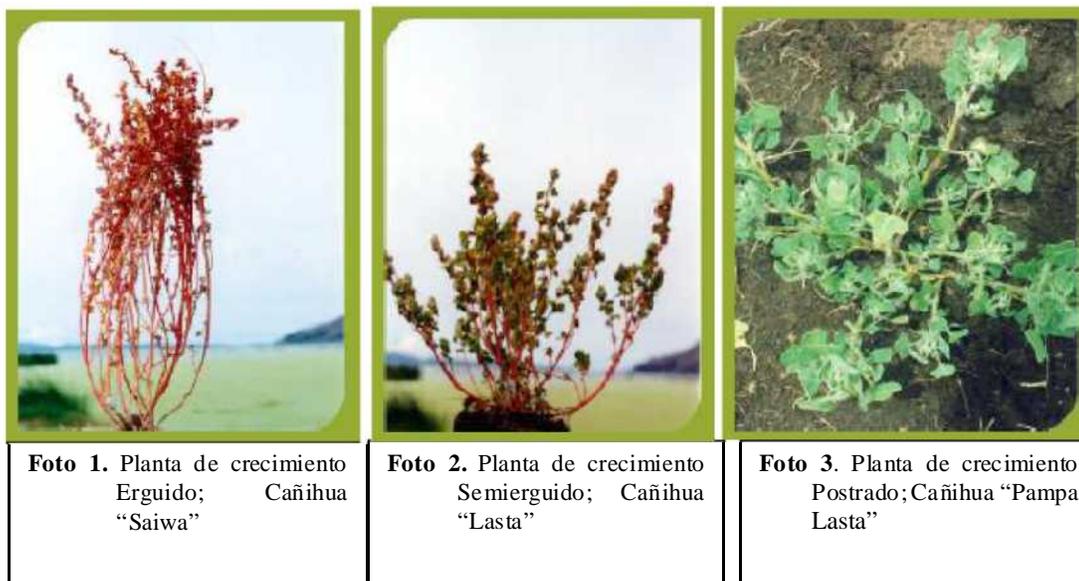
- Aymará: “iswallahupa”, “aharahupa”, “aara”, “ajara”, “cañahua”, “kañawa”.
- Español: “cañihua”, “cañigua”, “cañahua”, “cañagua”, “kañiwa”.

2.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Planta herbácea, ramificada desde la base, altura de 50 a 60 cm, periodo vegetativo entre 140 y 150 días. El color de la planta (tallos y hojas) cambia según el ecotipo en la fase fenológica de grano pastoso; de verde a: anaranjado, amarillo claro, rosado claro, rosado oscuro, rojo y púrpura. (León, 1964; Calle, 1979; Tapia, 1979).

Hábito de crecimiento

La planta de kañiwa tiene tres tipos de crecimiento: “saiwa” de tallos erguidos; “lasta” de tallos semierguidos y “pampa lasta” de tallos tendidos sólo sus extremos son erguidos (**Foto 1, 2 y 3**) (León, 1964; Cano, 1971; Tapia, 1979).



Fuente: Apaza (2010).

Raíz

La raíz es pivotante, relativamente profunda de 13 a 16 cm, con escasa ramificación principal y numerosas raicillas laterales, varían del color blanco cremoso al rosado pálido (**Foto 4**) (León, 1964; Calle, 1979; Tapia, 1979)



Foto 4. Raíz pivotante con escasa ramificación principal

Fuente: Apaza (2010).

Tallo

El tallo es hueco, estriado y ramificado desde la base de la planta con ramas secundarias, el número de ramas varía de 11 a 16 según el ecotipo, se cuenta desde la base hasta el segundo tercio de la planta, en madurez fisiológica el color del tallo varía de acuerdo al ecotipo: amarillo claro, verde amarillento, verde agua, verde claro, verde oscuro, crema suave, crema oscuro, anaranjado, rojo, café claro, café oscuro, púrpura pálido, púrpura oscuro (León, 1964; Calle, 1979; Tapia, 1979).

Hojas

Hojas tribuladas, alternas con pecíolos cortos de 10 a 12 mm, forma de la lámina foliar: romboidal, triangular, ancha ovada, mide 3.0 a 3.5 cm de largo y 2.5 a 2.8 cm de ancho, con borde entero o dentado. Las hojas presentan tres nervaduras bien marcadas en el envés, que se unen en la inserción del pecíolo, las hojas contienen vesículas con cristales de oxalato de calcio higroscópicos que controlan la excesiva transpiración en condiciones muy secas (**Foto 5**).

El color de las hojas varía según el ecotipo: amarillo claro, verde amarillento, verde agua, verde claro, verde oscuro, crema suave, crema oscuro, anaranjado, rojo, café claro, café oscuro, púrpura pálido, púrpura oscuro (León, 1964; Calle, 1979; Tapia, 1979).



Foto 5. Hojas con Oxalato de Calcio

Fuente: Apaza (2010).

Inflorescencia

Las inflorescencias son glomérulos inconspicuos, cimosas axilares o terminales, cubiertas por hojas terminales que las protegen de las temperaturas bajas. La flor es de tipo basipeta, hermafroditas, androceo formado por 1-3 estambres con diferente longitud del filamento estaminal, gineceo con ovario súpero unilocular (León, 1964; Cano, 1971; Calle, 1979; Tapia, 1979).

Características del grano

El grano no contiene saponina, es de forma subcilíndrico, cónico, sublenticular, subcónico y subelipsoidal de 1.0 a 1.2 mm de diámetro, el embrión es curvo y periforme, el epispermo muy fino y puntiagudo de color negro, castaño o castaño claro (**Foto 6**). El fruto está cubierto por el perigonio de color generalmente gris de pericarpio muy fino y translúcido. Las semillas no presentan dormancia y pueden germinar sobre la propia planta al tener humedad suficiente (León, 1964; Simmonds, 1966; Calle, 1979; Tapia, 1979).



Foto 6. Granos de cañihua

Fuente: Apaza (2010).

2.5. DIVERSIDAD GENÉTICA

Según Apaza (2010) el Altiplano es un centro de diversificación y variabilidad muy importante de cañihua. Su producción se concentra en terrenos comunales, campos donde es posible encontrar una gran diversidad de ecotipos con variabilidad genotípica y fenotípica. En el **Cuadro 2** se presenta los distritos donde se halla una mayor diversificación según el INIA (2005).

Cuadro 2. Distritos de mayor diversificación y área cultivada de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en la Región Puno - Perú

Provincia	Distrito	Comunidades campesinas
El Collao	Collao	Churo maquera, Churo López, Jachocco.
Puno	Laraqueri	Nuño marca, Anccacca
	Acora	Ampari, Totorani.
Melgar	Llalli	Llalli, Checasica, Kenemari
	Orurillo	Balsa pata, Caluyo
	Macari	Alto collana, bajo collana, Huamanruro
	Umachiri	Sora, Umasi
Chucuito	Zepita	Tanka tanka (Alto Pavita, Bajo pavita)
	Juli	San Pedro de Llinqui
	Kelluyo	Kelluyo
Carabaya	Crucero	Pueblo joven Carlos Gutierrez
Lampa	Lampa	Isla cantería, Enrique Torres Belón

Fuente: INIA, 2005

El Banco de Germoplasma de la EEA. Illpa-INIA, Puno, conserva 430 accesiones de cañihua, de las cuales el 41 por ciento corresponde a la provincia de Melgar, 21 por ciento a la provincia de Puno, 13 por ciento a San Antonio de Putina, 10 por ciento a la provincia de Lampa y 6 por ciento a la provincia de Huancané. Sin embargo, es imprescindible realizar colectas más minuciosas de material genético en forma amplia, como método rápido para obtener genotipos con valor agronómico y fuente de germoplasma.

Como en gran parte de las comunidades campesinas del Altiplano se encuentra una numerosa diversidad de ecotipos de cañihua con alta variabilidad interna, cultivado por campesinos generación tras generación, el Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos-Puno, a través del convenio Bioversity International - IFAD, CIRNMA e Instituto Nacional de Innovación Agraria, en el marco del proyecto “Elevar la contribución de las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos” el año 2002, ha recolectado 374 y caracterizado 120 colecciones, que se mantienen en el Banco de Germoplasma de la EEA. Illpa INIA, Perú; los cuales se presentan en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Principales ecotipos de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) colectados en ferias rurales

N°	Nombre común	N°	Nombre común	N°	Nombre común
1	Choque sillihua	17	Estrella	33	Sayiri sillihua
2	Cunacutama	18	Pusi esquina	34	Janko alverja
3	Kitay llama	19	Chuwa kañiwa	35	Choque uta
4	Chuto	20	Chiji kañiwa	36	Chupica
5	Kello	21	Ara	37	Condor nayra
6	Illama	22	Naranjaa	38	Tonko kello
7	Alfenica	23	Rojo	39	Huancatama
8	Alverja	24	Amarilla	40	Sullka illama
9	Airampo kañihua	25	Pasankalla	41	Wila chuto
10	Pito jiura	26	Kancolla	42	Chuto sillihua
11	Kello kañihua	27	Cupi blanca	43	K'uytu kañiwa
12	Chillihua	28	Luntusa	44	Rosada alfeñica
13	Wila alfeñica	29	Ishualla c	45	Kañiwa comunal
14	Isillihua chiara	30	Leche pito	46	Alverja chuto
15	Coque pito	31	Peske kañiwa	47	Janko
16	Isillihua oke	32	Morado	48	Cunacutama rosada

Fuente: INIA, 2005

En las colecciones de ecotipos, también llamados variedades tradicionales, locales o nativas realizadas en las provincias de Huancané, San Román, Lampa, Puno (Distrito: Acora) y Chuchito (Distrito: Pomata y Kelluyo), se ha encontrado que un mismo ecotipo puede recibir nombres diferentes en lugares diferentes.

La participación de la mujer rural en las ferias, con su cultura milenaria, contribuye a recuperar los conocimientos tradicionales asociados a las cualidades culinarias, medicinales y reivindicar la imagen de estos alimentos frente al consumidor (Repo-Carrasco, 2003)

Disminución diversidad de la cañihua

La erosión genética y la pérdida de germoplasma de cañihua es preocupante, por tratarse de un grano andino de alto valor biológico (Soto *et al.*, 2009). Entre los factores que contribuyen a la erosión genética destacan:

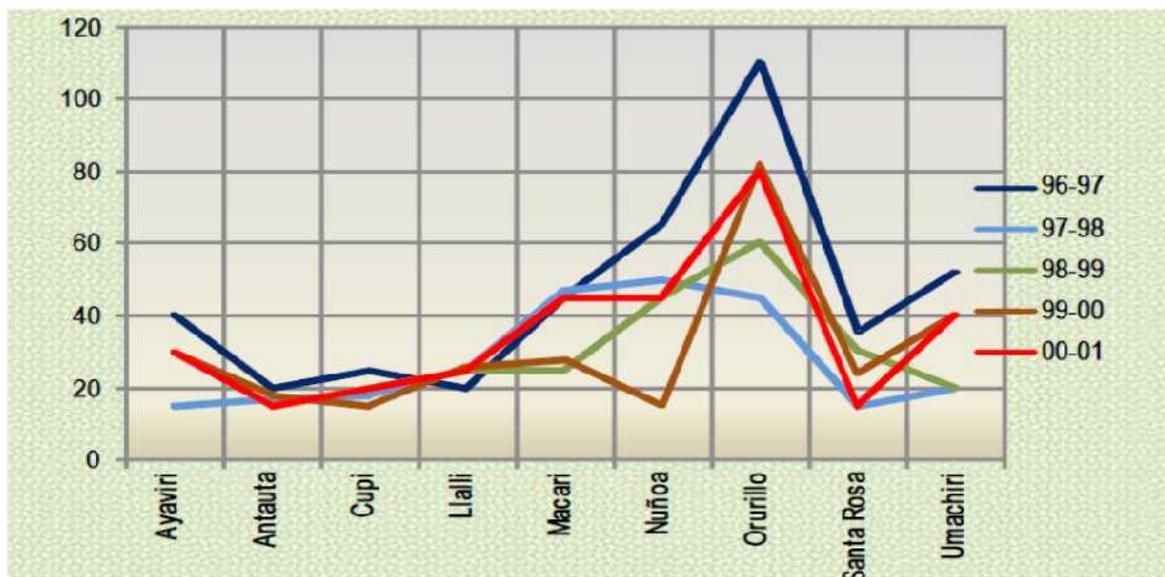
a) Disminución de la superficie cultivada

Ruiz (2003) mediante el proyecto “Conservación *in situ* de los cultivos nativos y sus parientes silvestres” identifico las causales de disminución del área cultivada de cañihua en la provincia de Melgar. Entre las principales se menciona a la migración, quedando en el campo personas de tercera edad y niños; introducción de infraestructuras de riego que permiten la instalación de pastos cultivados para la producción pecuaria; incremento de cultivos forrajeros como la avena forrajera para engorde de ganado vacuno principalmente; baja productividad de cañihua y los bajos precios con que compran los rescatistas en las ferias locales; tecnología muy tradicional de transformación tan sólo dedicado a cañihuaco.

La disminución de superficie cultivada de cañihua en la provincia de Melgar de 1996 al 2001 se estimó en 20.4 por ciento, con mayor pérdida en los distritos de Santa Rosa y Nuñoa, 30.8 y 57 por ciento respectivamente (**Gráfico 3**) (Ruiz, 2003).

- b) Cultivo de variedades puras por la exigencia del mercado a través de un mejor precio
- c) Otro factor que genera la erosión genética de cañihua es la disminución de su uso y consumo, pues se ha modificado la cultura gastronómica de muchas comunidades, en las que se ha comenzado un proceso de pérdida de la gastronomía tradicional, de alto valor nutricional, para favorecer el consumo de cultivos introducidos, que no reúnen condiciones nutricionales. (Ruiz, 2003).

Grafico 3. Disminución de superficie cultivada de cañihua en la provincia de Melgar – Puno.



Fuente: INIA (2005)

A pesar de esto, existe un acervo genético de cañihua muy importante en el Altiplano, como región de origen del grano es un “depósito de germoplasma” el cual está en manos de pequeños productores y son ellos quienes conservan, seleccionan y cultivan. (Soto *et al.*, 2009).

Variedades mejoradas

Una variedad de Cañihua es definida como un grupo de plantas similares que debido a sus características morfológicas y comportamiento, se puede diferenciar de otras variedades dentro de la misma especie (INIA, 2004).

Como la cañihua es una planta con una tasa de autofecundación entre 64 y 89 por ciento, las variedades mejoradas pueden obtenerse por los métodos de selección, considerando su gran variabilidad genética. El Instituto Nacional de Innovación Agraria ha logrado obtener las variedades Ramis, Cupi e Illpa INIA, consideradas como las primeras obtenidas mediante los métodos de mejoramiento por selección individual (panoja surco) y estudios de estabilidad de rendimiento (INIA, 2004).

A continuación describimos las características más sobresalientes de las tres variedades de cañihua:

Variedad Cupi: (Foto 7)

- Hábito de crecimiento: Saiwa
- Altura de planta 60 cm.
- Diámetro del tallo central medido en la parte media del tercio inferior de la planta en madurez fisiológica: 4.0 mm.
- Color de estrías: púrpura pálido.
- Color del tallo en madurez fisiológica de la planta: púrpura pálido.
- Número de ramas primarias desde la base hasta el segundo tercio de la planta: nueve.
- Cobertura vegetativa medida en madurez fisiológica, considerando la cobertura más ancha de la planta: 24 cm.
- Forma de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: ancha ovada.
- Número de dientes de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 5 a 6.
- Longitud del peciolo de hojas del tercio medio de la planta en plena floración: 7 mm.
- Longitud máxima de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 1.62 cm.
- Ancho máximo de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 1.40 cm.
- Color de la hoja a la madurez fisiológica: púrpura pálido.
- Grado de dehiscencia cuando alcanza a la madurez fisiológica: regular.
- Aspecto del perigonio la madurez fisiológica: cerrado.
- Color del perigonio registrado a la madurez fisiológica: gris crema suave.
- Color del epispermo: café claro.
- Diámetro del grano sin considerar el perigonio: 1.0 a 1.1 mm.
- Peso de 1000 granos 0.5510 g.

Cultivar Ramis: (Foto 8)

- Hábito de crecimiento de la planta: Saiwa
- Altura de planta: 52 cm. Diámetro del tallo central: 4.5 mm.
- Color de estrías: púrpura.
- Color del tallo en madurez fisiológica: púrpura.
- Número de ramas primarias desde la base hasta el segundo tercio de la planta: 15.



Foto 7: Cultivar Cupi

Fuente: Apaza, 2010.

- Cobertura vegetativa medida a la madurez fisiológica, considerando la cobertura más ancha de la planta: 26 cm.
- Forma de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: ancha ovada.
- Número de dientes de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 3 a 5.
- Longitud del peciolo de hojas del tercio medio de la planta en plena floración: 8 mm.
- Longitud máxima de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 2.03 cm.
- Ancho máximo de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 1.70 cm.
- Color de la hoja a la madurez fisiológica: púrpura pálido.
- Grado de dehiscencia cuando alcanza la madurez fisiológica: ligera.
- Aspecto del perigonio a la madurez fisiológica: semiabierto.
- Color del perigonio registrado a la madurez fisiológica: gris oscuro.
- Color del epispermo: café oscuro.
- Diámetro del grano sin considerar el perigonio: 1.1 a 1.2 mm.
- Peso de 1000 granos 0.8566 g.

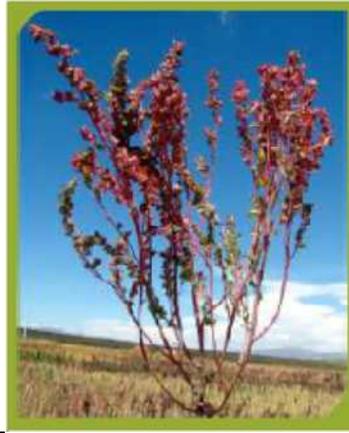


Foto 8. Cultivar Ramis

Fuente: Apaza, 2010.

Cultivar Illpa INIA 406: (Foto 9)

- Hábito de crecimiento de la planta: Saiwa.
- Altura de planta: 67 cm.
- Diámetro del tallo central: 5.0 mm.
- Color de estrías: rojo.
- Color del tallo en madurez fisiológica: anaranjado.
- Número de ramas primarias desde la base hasta el segundo tercio de la planta: 33.
- Cobertura vegetativa medida a la madurez fisiológica considerando la cobertura más ancha de la planta: 31 cm.
- Forma de lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: ancha ovada.
- Número de dientes de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 5 a 7.
- Longitud del peciolo de hojas del tercio medio de la planta en plena floración: 12 mm.
- Longitud máxima de la lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 2.40 cm.
- Ancho máximo de lámina foliar del tercio medio de la planta en plena floración: 1.73 cm.
- Color de la hoja a la madurez fisiológica: anaranjado.
- Grado de dehiscencia cuando alcanza la madurez fisiológica: ligera.
- Aspecto del perigonio en la madurez fisiológica: Cerrado.

- Color del perigonio registrado a la madurez fisiológica: crema suave.
- Color del epispermo: café claro.
- Diámetro del grano sin considerar el perigonio: 1.0 a 1.1 mm.
- Peso de 1000 granos: 0.5511 g.

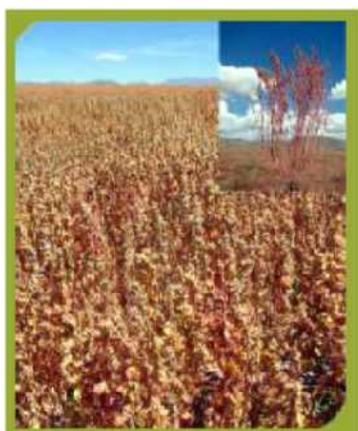


Foto 9. Cultivar Illpa Inia

Fuente: Apaza, 2010.

Además de la información morfológica y agronómica relacionada a las variedades mencionadas se presenta los resultados de un análisis químico proximal (**Cuadro 4**)

Cuadro 4. Composición química proximal de los granos de tres cultivares de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* A.).

Determinaciones	Cultivar Cupi	Cultivar Ramis	Cultivar Illpa INIA 406
Humedad (%)	8.45	7.73	8.36
Proteína (Nx6.25)%	13.48	13.10	13.82
Fibra (%)	10.28	10.00	11.00
Cenizas (%)	4.10	4.08	4.16
Grasa (%)	3.88	3.90	3.92
ELN (%)	59.81	61.19	58.74
Energía (kcal/100g)	325.36	329.65	322.68

Fuente: Laboratorio, EEA-Illpa, Puno (Apaza V, 2010)

Variedades Compuestas

Según Apaza (2010) actualmente el Programa de Mejoramiento en Cultivos Andinos del INIA, con apoyo económico de Bioversity International “Proyecto Desarrollo de Granos Andinos con potencial para Asegurar la Nutrición Popular y la Superación de la Pobreza”, está realizando trabajos en la formación de variedades compuestas de cañihua y quinua de ancha base genética, de tal forma que puedan adaptarse a las variaciones ambientales y a la evolución cuantitativa y tener un área de distribución potencial razonablemente amplia y su vigencia como variedad útil sea duradera.

Para esto se ha recurrido a la gran variabilidad genética, que en gran parte se encuentran almacenados en los bancos de germoplasma y en comunidades campesinas del altiplano.

El método de mejoramiento para lograr este tipo de variedades es el de compuestos. Según Brauer (1976), el compuesto está constituido por una mezcla de líneas que puedan ser iguales o muy semejantes en sus caracteres agronómicos y de calidad, pero que tienen diferente resistencia genética a distintas razas de patógenos.

Aquí es importante señalar como el pequeño agricultor maneja una alta plasticidad en sus cultivos con el uso de mezcla de variedades locales o criollas, asegurando su producción para sus necesidades y en segundo plano para la venta.

2.6. VALOR NUTRICIONAL

Según Repo-Carrasco (2003) la cañihua se caracteriza por contener proteínas de alto valor biológico, mayor que el de la quinua, además de fibra. Es un alimento considerado nutracéutico (con efecto beneficioso para la salud producido por un compuesto bioactivo) o alimento funcional, con un elevado contenido de proteínas (15.7 a 18.8 por ciento) y una proporción importante de aminoácidos esenciales, entre los que destaca la lisina (7.1 por ciento), aminoácido escaso en los alimentos de origen vegetal, que forma parte del cerebro humano. Esta calidad proteica en combinación con un contenido de carbohidratos del orden del 63.4 por ciento y aceites vegetales del orden del 7.6 por ciento, la hacen altamente nutritiva. También concentra grandes proporciones de calcio, magnesio, sodio, fósforo, hierro, zinc, vitamina E, complejo vitamínico B; por lo que los nutricionistas la comparan con la leche. El grano también tiene alto nivel de fibra dietética, y grasas no saturadas. Considerándose a esta especie como uno de los componentes estratégicos de la seguridad alimentaria, del cual se podrían elaborar productos innovadores en la industria alimentaria.

2.7. GENERALIDADES SOBRE MUTACIONES

El término mutación fue asignado por Duchesne en 1776 y aceptado por Hugo de Vries, en 1896. Siendo este último investigador, quien enfatiza que las mutaciones son la base fundamental de la evolución de las especies (Fernández *et al.*, 2002).

Para Sánchez-Monge (1955) Stadler, en 1927, consiguió inducir mutaciones en las plantas de cebada mediante irradiación con rayos X. Este investigador obtuvo tres mutaciones clorofílicas, blanca, virescente y amarilla, respectivamente, en 77 progenies de espiga procedentes de 26 plantas irradiadas.

Las mutaciones que observaron De Vries, Morgan y otros precursores de la genética, se originaron espontáneamente en animales y plantas que no fueron sometidos a ningún mutágeno eso es, a un tratamiento que se supiera o se sospechara que fuese capaz de inducir mutaciones (Sinnot *et al.*, 1961).

Para Elliot (1964) las mutaciones son una de las fuerzas directrices de la evolución y son cambios repentinos en la estructura genética, siendo hereditarios. Desde hace mucho tiempo, se ha tratado de inducir mutaciones bajo condiciones experimentales. La inducción artificial de mutaciones por medio de la radiación ionizante data de principios del siglo XX, pero no fue hasta unos 30 años después que se demostró que estas transformaciones podían emplearse en fitotecnia. En esta fase inicial de inducción de mutaciones se realizaron ingentes esfuerzos para determinar condiciones óptimas en que podía lograrse la reproductibilidad. En las investigaciones se trató, sobre todo, de transformar la inducción de mutaciones “aleatoria” en una mutagénesis más específica para obtener mutaciones más convenientes y útiles desde el punto de vista económico. Aun así, no se lograron las alteraciones deseadas en el espectro de mutantes.

Aunque no es frecuente observar mutaciones en un gen en particular, una planta superior puede tener hasta 100000 genes en una célula. Ello significa que cada planta puede transmitir a la próxima generación una o más mutaciones espontáneas. En general resulta difícil determinar las mutaciones de genes sin expresiones fenotípicas (visibles). La variación genética, en algunos casos puede ser bastante limitada y los científicos tienen que recurrir a la inducción de mutaciones. No se conoce otra forma económica de alterar los genes, salvo esperar con paciencia que se produzcan mutaciones espontáneas que pueden demorar entre cientos y miles de años (Novak & Brunner, 1992).

Contar con variabilidad genética es el principal paso dentro de un programa de mejoramiento, la cual permite la selección de cultivares para diversos fines (Brunner, 1995) como mayor rendimiento, contenido de proteína o aceites, tolerancia a factores bióticos, entre otros.

Fita *et al.* (2008) señalan que las poblaciones de plantas aumentan su variabilidad genética debido a las fuerzas microevolutivas. Se considera fuerza microevolutiva a cualquier proceso capaz de cambiar la frecuencia de alelos en las poblaciones. Estas fuerzas son la mutación, la migración, la recombinación, la selección y la deriva genética. La mutación es la única fuente primaria de variación ya que es el único mecanismo que genera nuevos tipos.

2.8. TIPOS DE MUTACIONES

2.8.1. Por su Origen:

Las mutaciones se clasifican según su origen en espontáneas o inducidas. Una mutación espontánea es aquella que ocurre en la naturaleza, mientras que una mutación inducida es la que resulta de la acción de un agente mutagénico o mutágeno aplicado artificialmente. La mutación espontánea es el mecanismo por el cual los nuevos caracteres génicos surgen en la naturaleza. No hay diferencia clara entre mutaciones espontáneas y las inducidas. Lo que parece ser una mutación espontánea podría ser una mutación inducida, ya que todas las plantas en la naturaleza están sujetas a bajas dosis de radiación natural. Asimismo, podría darse el caso de que después de tratar el material vegetal con un mutágeno, una mutación identificada resulte ser una mutación espontánea, y no el resultado del tratamiento con el mutágeno (Gardner, 1975; Poehlman & Sleper, 2003).

Para Brunner (1995) las mutaciones se generan de manera espontánea en la naturaleza, pero en una frecuencia reducida (alrededor de 10^{-5} y 10^{-8}). Para poder incrementar la tasa de ocurrencia (10^{-6} y 10^{-4}) se pueden utilizar diversos agentes mutagénicos y/o físicos. Según Cubero (2003) la mutación natural es la base de la selección natural y, por consiguiente, de la evolución y de la selección artificial.

Las mutaciones inducidas pueden cambiar una o pocas características específicas de una variedad, pudiendo contribuir al mejoramiento genético (Predieri, 2001) la variabilidad en el caso de las mutaciones inducidas no es necesariamente diferente a aquella variabilidad causada por mutaciones espontáneas durante la evolución (Sigurbjornsson, 1977). Según

Cubero (2003) la mutación inducida debe considerarse un complemento para incrementar la cantidad de variación natural existente, en particular cuando se haya reducido excesivamente la variación genética por una intensa selección o cuando no se encuentra lo que se desea.

La mutación inducida es una fuente adecuada para producir variación en la mejora de cultivos (Domingo *et al.*, 2007).

2.8.2. Por la Cantidad de ADN

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

a. Mutaciones génicas o puntuales

Gardner (1979) afirma que un cambio que implique a un nucleótido o a una sola base se denominara mutación de punto, en contraste con otro que implique un segmento más grande de un gen o de un cromosoma.

Poehlman y Sleper (2003) mencionan que las mutaciones génicas pueden ser recesivas (de $A \rightarrow a$) o dominantes (de $a \rightarrow A$). Las mutaciones génicas recesivas son las más comunes. Si la mutación génica recesiva tiene lugar en el tejido somático de una planta homocigótica, sus efectos no se expresan sino hasta la siguiente generación proveniente de la semilla producida en la parte de la planta que lleva el alelo dominante. Esto resulta porque un solo gen del homocigótico muta de ($AA \rightarrow Aa$) y el gen dominante que permanece en el heterocigoto enmascara el alelo del efecto mutante recesivo. Después de la autofecundación, hay segregación, lo que da lugar a plantas mutantes (aa) en la próxima generación. Si ambos genes mutaron simultáneamente, una mutación génica recesiva se expresaría de inmediato, pero ese evento es extremadamente raro.

Mediante autofecundación daría lugar a segregación ($1AA:2Aa:1aa$) y a la producción de plantas mutantes homocigotas en la progenie. Cuando las mutaciones ocurren en el tejido somático, solo un pequeño sector (quimera) de la planta como un tallo o una rama que desarrolla de la célula en la cual ocurrió la mutación portara el gen mutante. El resto de la planta no será afectado. Si una mutación recesiva ocurre en un gameto y este se une a otro

gameto que posee un alelo dominante, la semilla que se forma después originara una planta heterocigótica y la segregación se expresara en la progenie de esa planta.

Fita *et al.* (2008) menciona a la mutación génica como cualquier cambio heredable producido dentro de los límites de un gen. Como resultado aparecen nuevos estadios alternativos de un mismo gen, o lo que es lo mismo, nuevas variantes alélicas distintas a las preexistentes (**Figura 2**).



Figura 2. Tipos de mutaciones génicas Fita *et al.* (2008).

- *Sustitución: El resultado de la sustitución de una base por otra en la cadena del ADN.
- **Delección: Se trata de la pérdida de un par de bases en la secuencia de un gen.
- ***Adición: Se trata de la adición de un par de genes.

Existen especies cultivadas en las que muchas de las variedades existentes son el resultado de simples mutaciones puntuales. Por ejemplo, muchas variedades de cítricos, frutales de hueso o pepita han aparecido como resultado de mutaciones espontáneas surgidas en campo sobre un individuo de una variedad comercial previa. Otro ejemplo es la diversidad que se encuentra en las coles (coliflor, romanesco, coles de Bruselas, col lombarda), la cual es producto de unas pocas mutaciones (Fita *et al.*, 2008).

b. Mutaciones cromosómicas - Aberraciones cromosómicas

Las aberraciones cromosómicas dan lugar a un cambio en el orden lineal, el cual causa cambios en el fenotipo, porque se altera la secuencia de las reacciones enzimáticas de los

genes o la interacción de estos respecto al lugar para la expresión de un carácter o respecto al tiempo en que se debe desarrollar ese carácter. En las aberraciones cromosómicas por inversiones, translocaciones y en fragmentaciones, puede considerarse que no hay pérdida de genes, solo cambio de lugar de estos. Sin embargo puede haber alteraciones fenotípica y de las proporciones mendelianas típicas. Además, pueden causar esterilidad en grados variables por alterar o impedir la homología cromosómica. Si el grado de supresión, adición o alteración cromosómica es considerable, incluso puede causar letalidad y aun su vitalidad en los individuos de una población de plantas, estos efectos se manifiestan más en las deficiencias o en las duplicaciones parciales (Robles, 1986).

c. Mutaciones en el número de cromosomas – Cambios de ploidia.

Se puede clasificar en aneuploides y en euploides. Los aneuploides se caracterizan por tener cromosomas de menos (hipoploides) o más (hiperploides) en células o en individuos diploides. En la meiosis, los cromosomas en exceso o defecto no se separan normalmente para la formación de los gametos, o sea, que hay una disyunción defectuosa, siendo esta la causa de gametos aneuploides. Los euploides son células o individuos que contienen múltiplos de un genoma completo de cromosomas de una especie (Robles, 1986).

A diferencia de los animales, entre las especies vegetales se pueden encontrar una variedad de niveles de ploidia incluyendo 2x, 3x, 4x, 6x, 8x y aneuploides. Entre los poliploides se encuentra auto y alopoliploides. Se piensa que los poliploides con conjunto duplicado de genes pueden ser menos sensitivos a los tratamientos mutagénicos, en término de la producción de mutantes, que sus duplicados diploides. Por lo tanto, estudios sistemáticos pueden ser conducidos con trigo, algodón, cebada y arroz (Chopra, 2005).

2.9. AGENTES MUTAGÉNICOS

El mejoramiento genético de plantas o fitotecnia exige variación genética de las características útiles para mejorar los cultivos y cuándo no se logra a través de las hibridaciones, se puede emplear agentes mutagénicos, como la radiación y algunos productos químicos, para inducir mutaciones y generar variaciones genéticas de los cuales pueden seleccionarse los mutantes deseados. El tratamiento con agente mutagénicos altera los genes o causa cambios estructurales en los cromosomas (Konzak *et al.*, 1965; Novak & Brunner, 1992). Asimismo, Donini & Sonnino (1998) señalan que estos elementos son

reconocidos por inducir cambios a nivel génico, cromosómico y genómico, tanto en el ADN nuclear y citoplasmático.

En el **Cuadro 5** se presenta una relación de agentes mutagénicos físicos y químicos descritos por varios autores como: Konzak *et al.* (1965); Pinchinat (1968); Ahloowalia & Maluszynski (2001); Fita *et al.* (2008).

Cuadro 5. Relación de Agentes Mutagénicos empleados en Inducción de Mutaciones de Plantas

AGENTES FÍSICOS	AGENTES QUÍMICOS
Rayos gamma	Etil metan sulfonato
Rayos X	Diethyl sulfonao
Rayos ultravioleta	Azida sódica
Partículas beta	Etil inina
Partículas alfa	

Fuente: Yarango (2013).

Los estudios llevados a cabo por Favret (1972) muestran que la estimación del efecto de los agentes mutagénicos se mide por las variaciones observadas al estado de plántula, siendo una de ellas las mutaciones que afectan al aparato clorofílico, reacción a enfermedades, etc.

Mendoza (1994) menciona que un agente mutagénico no produce una mutación específica. Por lo tanto, lo que se busca es aumentar la frecuencia de las mutaciones en general y así tener una mayor probabilidad de obtener mutaciones útiles desde el punto de vista agronómico. Se tienen indicios de mutaciones específicas entre diferentes agentes pero no es posible basarse en éstos para producir una mutación específica que predomine entre otras.

Para Fita *et al.* (2008) pueden aplicarse a la semilla, aunque también se pueden aplicar a otros órganos o estructuras como yemas, granos de polen, tejidos y células somáticas, tubérculos, bulbos, etc.

De los más de 2700 variedades de mutantes que han sido liberados en todo el mundo, 64 por ciento fueron creados a través de exposición a rayos gamma, el 22 por ciento a través de la exposición a los rayos X y el resto por otros tratamientos mutagénicos (Ahloowalia *et al.*, 2004; Shu & Lagoda, 2007).

Según la base de datos del OIEA del 2015 de las 3230 variedades mutantes registradas en 214 especies de plantas más del 80 por ciento han sido desarrolladas con técnicas nucleares (<http://mvgs.iaea.org>).

2.10. MUTÁGENOS FÍSICOS

Según Rekha & Langer (2007) las alteraciones genéticas producidas por los mutágenos físicos son debidas a la ionización y la excitación de la molécula de ADN, induciéndose además diferentes tipos de cambios químicos. Existen evidencias en la bibliografía que demuestran que estos tipos de irradiación estimulan la actividad metabólica de las plantas, como la respiración, la glicolisis, la actividad de la enzima catalasa, y la fosforilación oxidativa.

Rayos X

Los rayos X se utilizaron mucho en los primeros experimentos, ya que el equipo de rayos X era fácil de conseguir y de operar, y las semillas, las plantas o el polen podían tratarse con dosis bastante precisa

Neutrones

Las radiaciones de neutrones se hicieron posibles con la aparición de reactores nucleares. Las radiaciones de este tipo producen daños más graves a los cromosomas que los rayos X y se utilizan principalmente en semillas.

RADIACIONES GAMMA

Los rayos gamma, emitidos por cobalto radiactivo o radioisótopos, causan daños en células vegetales y suelen utilizarse para irradiar plantas completas o parte de estas, incluyendo el polen (Poehlman & Sleper, 2003).

Para Babaei *et al.* (2010) los rayos gamma son mutágenos físicos que han demostrado ser útiles para la modificación de nuevas variantes de rasgos que pueden dar lugar a la mejora de los cultivos y se puede utilizar como una herramienta complementaria en fitomejoramiento.

2.11. DOSIS

Para Cubero (2003) las más utilizados y efectivas son los rayos X y gamma habiéndose el alfa, beta, neutrones, etc. Las dos unidades que se manejan son el roentgen (**R**) y el rad (**rad**) la primera es la unidad de exposición. Cantidad de radiación que se produce por unidad electrostática de carga eléctrica por cm^3 de aire. El **rad** (radiation absorbed dose) es la unidad de radiación absorbida: es la radiación que produce una absorción de energía de 10^{-2} Julios por kg de material tratado. Ambas unidades son prácticamente equivalentes, siendo más fácil trabajar con el rad que con el roentgen, pues es más fácil medir la absorción que la emisión de energía. En términos de energía, los niveles más usados en mutagénesis artificial están por debajo de los 12.4 keV (es decir, de 0.1 nm de longitud de onda) aunque se llega hasta los 1,24 MeV ($=10^{-3}\text{nm}$), empleados en terapia profunda.

Las radiaciones ionizantes producen daño directo (roturas físicas de la cadena de ADN, a veces con eliminación de trozos) o indirecto a través de iones producidos en el medio.

En la fase inicial de la inducción de mutaciones no se lograban las alteraciones deseadas en el espectro de mutantes. Para Novak & Brunner (1992) la dificultad fue que a medida que aumentaba la dosis de radiación, se incrementaba el deterioro de la planta y disminuía la frecuencia de mutaciones de mutaciones económicamente útiles.

Uno de los primeros pasos en tratamientos mutágenos es la estimación de la dosis más apropiada a aplicar, medida en Gy (Gray), equivalente a 1 J Kg^{-1} , o bien a 100 rad. El procedimiento para fijar la dosis apropiada está basado en la radiosensibilidad del tejido, la cual es estimada a través de la respuesta fisiológica del material irradiado. Se debe determinar la dosis que causa un 50 por ciento de reducción del crecimiento vegetativo del material tratado (DL_{50}) cuando es comparado al testigo en el primer ciclo vegetativo después del tratamiento (Predieri, 2001).

La radiosensibilidad varía con la especie y la variedad, con la condición fisiológica de la planta y órganos y con la manipulación del material irradiado antes y después del tratamiento mutagénico (Briggs & Constantin, 1997). Correlaciones entre el estado fisiológico de las plantas y su radiosensibilidad son, a menudo, determinadas por el contenido de agua del tejido (Predieri, 2001).

2.12. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EFICIENCIA DEL AGENTE

Cubero (2003) en primer lugar, señala que depende del tipo de radiación, teniendo distinta eficacia biológica relativa (que es la relación entre dosis absorbidas de distinto tipo de radiación para producir el mismo efecto biológico); los neutrones son poco eficaces, y aún menos los alfa. En lo que respecta a la longitud de onda, existe independencia entre ella por una parte y la intensidad y forma de aplicación de otra, al menos en un amplio margen (de 10^{-3} a 0.2 nm aproximadamente). La relación entre la dosis y la proporción de mutaciones obtenidas es lineal para intervalos muy amplios.

Más importantes son las características del material; entre ellas cabe mencionar:

- El tipo de tejido: su constitución, edad, etc.: a mayor actividad, mayor sensibilidad a la radiación y al contrario. Los meristemas serán muy sensibles, troncos y órganos de sostén muy resistentes.
- El ciclo de división: a mayor actividad mitótica, la mayor sensibilidad. Los tejidos de la semilla en germinación (pero no seca), los ápices, meristemas y otros

2.13. EFECTO DE LAS MUTACIONES SOBRE EL MATERIAL VEGETAL

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

- Efecto fisiológico: es aquel que produce alteración química de ciertas moléculas que afectan el funcionamiento normal de la célula, llegando en ocasiones hasta causar la muerte de estas. Esto tiene repercusión sobre la síntesis de DNA y se puede alterar mucho la mitosis, produciéndose el aglutinamiento de los cromosomas, aunque éstos no se rompan. Se denominan también efectos somáticos
- Efecto mutacional: aplicado a la teoría del blanco, se producen mutaciones de punto sin que sean capaces de producir la ruptura del cromosoma.
- Efecto cromosómico: en este tipo de efecto se llega a la ruptura del cromosoma, la cual puede afectar al cromosoma completo, o a una cromátida.

2.14. UTILIZACIÓN DE LA MUTAGÉNESIS INDUCIDA EN LA MEJORA

Uno de los usos más importantes de las mutaciones inducidas y espontáneas identificadas es en el mejoramiento genético de plantas. Para este propósito se debe poner atención en la

selección de las variedades parentales. Generalmente, deberán seleccionarse las variedades adaptadas de la localidad de estudio. El desarrollo exitoso de la línea mutante no sólo depende de la mutación beneficiosa, sino de la: adaptabilidad, resistencia, calidad y rendimiento, que pueden estar ya presentes en la combinación genética del material parental. Es recomendable las líneas mutantes sean probadas en diferentes ambientes en la generación M_3 o M_4 . Si el comportamiento agronómico no es satisfactorio pero sin embargo, el carácter mutado es importante, la línea mutante puede ser empleada como progenitor en cruza con una variedad bien adaptada y de alto rendimiento. Además de ello la inducción de mutaciones es una herramienta para incrementar la variabilidad de los organismos. Muchas veces la variabilidad causada por éstas no difiere de la causada por mutaciones que se producen en forma natural por efecto de la evolución (IAEA, 1984; IAEA, 1997).

Empleo de mutaciones puntuales o génicas:

a) En especies autóгамas:

a.1 Usándolas directamente para mejorar variedades

a.2. Mediante cruza realizadas con plantas mutantes

- Cruza del mutante con la línea parental
- Cruza de diferentes mutantes de diferentes líneas parentales
- Cruza de diferentes mutantes de diferentes líneas parentales
- Cruza del mutante con una línea parental diferente
- Cruza de dos variedades que aparentemente llevan el mismo mutante

b) En especies alógamas: en general, inducir mutantes en especies alógamas ofrece menos perspectivas, particularmente por la dificultad de selección, incorporación y mantenimiento de mutaciones recesivas en cada población y además porque los problemas de mejoramiento de plantas alógamas son más problemas de manejo que de pérdida de variabilidad *per se*. Sin embargo, se han reportado algunos éxitos de trabajos de mejoramiento en plantas alógamas utilizando mutaciones.

c) A través de heterosis:

c.1. En líneas endocriadas

c.2. En inducción de machos estériles (alógamas y autóгамas)

d) En plantas de reproducción asexual: las especies que reproducen vegetativamente se encuentran principalmente dentro de dos categorías: primero, aquellas especies que son capaces de reproducirse sexualmente, pero que comercialmente son propagadas vegetativamente; estas especies son altamente heterocigotas y son a menudo aneuploides y poliploides. La segunda categoría está conformada por especies propagadas vegetativamente, denominadas apomíticas. En estas plantas se utiliza las mutaciones génicas para producir pocos cambios en una variedad de interés, en la que se busca solamente un carácter nuevo manteniendo teóricamente todos los anteriores.

Empleo de mutaciones en cromosomas:

- a) Empleo de translocaciones, para transferir caracteres a partir de otras especies o géneros.
- b) Empleo de translocaciones, para producir directamente duplicaciones.
- c) Diplodización y poliploidización.

Uso de agentes mutagénicos para cultivos con problemas especiales:

- a) Empleo de radiaciones para producir mutantes haploides.
- b) Empleo de mutagénesis para incrementar la variabilidad.
- c) Empleo de radiaciones para la producción de sexualidad transitoria en especies apomíticas.
- d) Empleo de radiaciones para reducir la incompatibilidad de cruza amplias.
- e) Empleo de la inducción de mutaciones para estudios especiales de los procesos genéticos o fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en el cultivo de plantas.

2.15 MEJORAMIENTO GENÉTICO POR INDUCCIÓN DE MUTACIONES EN ESPECIES CULTIVADAS

Gardner (1979) menciona al alemán H. Stubbe que reportó la inducción de formas mutantes de cebada, trigo, avena, frijol, soya, tomates y árboles frutales. Además, menciona que se obtuvieron mutantes de cebada cuyas características fueron un mayor rendimiento, resistencia a la roya, paja dura, un mayor contenido proteínico y semillas sin hollejos.

Cierto éxito se logró con la inducción de mutaciones para la resistencia a ciertas enfermedades como en el caso de cereales; las semillas de plantas irradiadas se trataron con toxinas provenientes del organismo patógeno. Luego estas mismas semillas se pusieron a germinar con papel filtro húmedo. Las semillas sin alteración genética fueron susceptibles a la enfermedad y murieron por efecto de la toxina y no llegaron a germinar. Sin embargo, en algunas con cambios genéticos o por una mutación fueron resistentes a la enfermedad. Tales semillas sobrevivieron y perpetuaron dicha resistencia a su descendencia.

Romero (1982) menciona que los experimentos sobre el empleo de agentes mutagénicos en cereales son una herramienta importante para el desarrollo y uso de nuevas formas de variabilidad genética.

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

Robbelen (1990) menciona que también se han reportado cambios por efecto de mutaciones en caracteres, como contenido de aceite en girasol y soya; composición de ácidos grasos del aceite de lino, soya y canola o colza.

Muchos cultivares mutantes de plantas propagadas por semilla, son de alto rendimiento. En China, cultivares exitosos basados en mutantes se siembran en millones de hectáreas (IAEA, 1997). En Checoslovaquia, casi toda la cebada maltera es producida sobre la base de cultivares obtenidos por mutaciones.

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) ha recogido en un banco de datos, junto con la organización de Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), informaciones sobre mutaciones en diferentes especies, por ejemplo en Kenia, a través de esta técnica se ha desarrollado una variante de trigo resistente a la sequía y en Vietnam, los expertos han conseguido modificar de esta manera varias especies de arroz para su adaptación a altas tasas de salinidad en el delta del Mekong (Novak & Brunner, 1992).

En Checoslovaquia, se irradiaron las semillas de cebada, variedad “Valticky”, con 10 krad de rayos X. Este trabajo dio como resultado la liberación de una variedad denominada

Diamante en 1965. Se cambió con respecto al material parental: la altura de planta con una reducción de 15 cm, resistencia al acame, hábito de crecimiento semi-postrado, alta capacidad de macollamiento, más rendimiento en 12 por ciento aproximadamente y una relación de grano-paja de 1:0.95 comparado con 1:1.3 del material parental (Maluszynski *et al.*, 1995).

Chávez-Tafur (1991) señala que en el Perú se ha reportado la obtención de mutantes de cebada precoces, con una altura reducida, mayor número de granos y granos desnudos, originando la variedad mutante: UNA La Molina 95 (Romero & Gómez, 1996).

Van Harten (1998) señala que la principal ventaja de la inducción de mutaciones es que el genotipo es levemente alterado (comparado con la hibridación); cambiando el carácter deseado, y el tiempo requerido para cambiar este carácter es menor que cuando se usan las hibridaciones para mejorar el mismo carácter. Por otro lado, el uso de mutantes inducidos en hibridaciones puede ser importante, ya que las características mutantes deseables se pueden transferir por hibridación sexual a las variedades cultivadas de interés.

Durante los últimos setenta años, el mejoramiento por mutación dio lugar a más 2250 variedades de plantas (Maluszynski *et al.*, 2001; Ahloowalia *et al.*, 2004) 70 por ciento de estas variedades fueron lanzados como mutantes inducidos directamente, y el otro 30 por ciento a partir de cruzamientos con mutantes inducidos.

Según Maluszynsky *et al.* (2003) las mutaciones inducidas en *Arabidopsis*, guisante, tabaco, tomate, cebada, maíz y arroz hizo posible la identificación de muchos genes implicados en las vías metabólicas respuesta responsable del desarrollo de la planta y al crecimiento, a los reguladores de crecimiento como así como diversos estreses bióticos y abióticos.

Adamu & Aliyu (2007) señalan que las mutaciones inducidas son una herramienta muy valiosa, particularmente cuando se desea mejorar uno o dos caracteres fácilmente identificables en una variedad bien adaptada.

Mendoza (2007) menciona que las mutaciones inducidas se han utilizado sea para mejorar características particulares en variedades tradicionales bien establecidas o para generar mutaciones deseables muy difíciles de encontrar en el germoplasma o recursos genéticos de

cada especie. Entre los caracteres que han conducido a la obtención de nuevas variedades se puede citar: precocidad, semi enanismo, esterilidad, masculina, resistencia al encamamiento, resistencia a enfermedades, tolerancia a estreses abióticos como calor y frío, mejor calidad nutritiva e industrial, y en menor escala el rendimiento.

Un método muy empleado en el mejoramiento del arroz es la inducción de mutaciones que viene empleándose desde la década de los 60 con mucho éxito (Ahloowalia *et al.*, 2004; Chopra, 2005; Fu *et al.*, 2008).

La eficiencia de mutagénesis inducida ha tenido gran importancia en la liberación oficial, en las últimas cuatro décadas, de más de 3000 variedades las que incluyen 1726 cultivares de especies alimenticias y ornamentales.

Heros (1999) lo empleo en el mejoramiento genético de la kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y determino que la dosis óptima para inducción de mutaciones fue de 400 Gy. Por otro lado, el agente químico azida de sodio no tuvo ningún efecto mutagénico.

Gómez *et al.* (2006) señalan que se liberó el cultivar Centenario del año 2006 con similar calidad, mejor rendimiento y diferente color de planta que el material parental fue tratado con 400 Gray de rayos gamma. Los mismos autores concluyen que es posible obtener variedades de mejor comportamiento que el material parental empleando inducción de mutaciones.

Se puede observar el diagrama de mejoramiento por inducción de mutaciones empleado en el cultivar mutante Centenario (**Figura 3**).

Slabbert *et al.* (2004) informaron de un trabajo de inducción de mutaciones que incluye el trabajo con semillas de *Amaranthus tricolor* las cuales fueron irradiados con rayos gamma con una dosis de 180 Gy y sembradas como plántulas M₁ en condiciones de campo y en cajas de madera en el invernadero y sometidas a un tratamiento de sequía, seleccionándose plantas tolerantes, las cuales mantuvieron esta característica en generaciones posteriores. Seleccionándose genotipos con tolerancia a sequía en la generación M₅. Las líneas mutantes presentaron mecanismos de evasión, tolerancia y recuperación rápida del estrés de sequía.

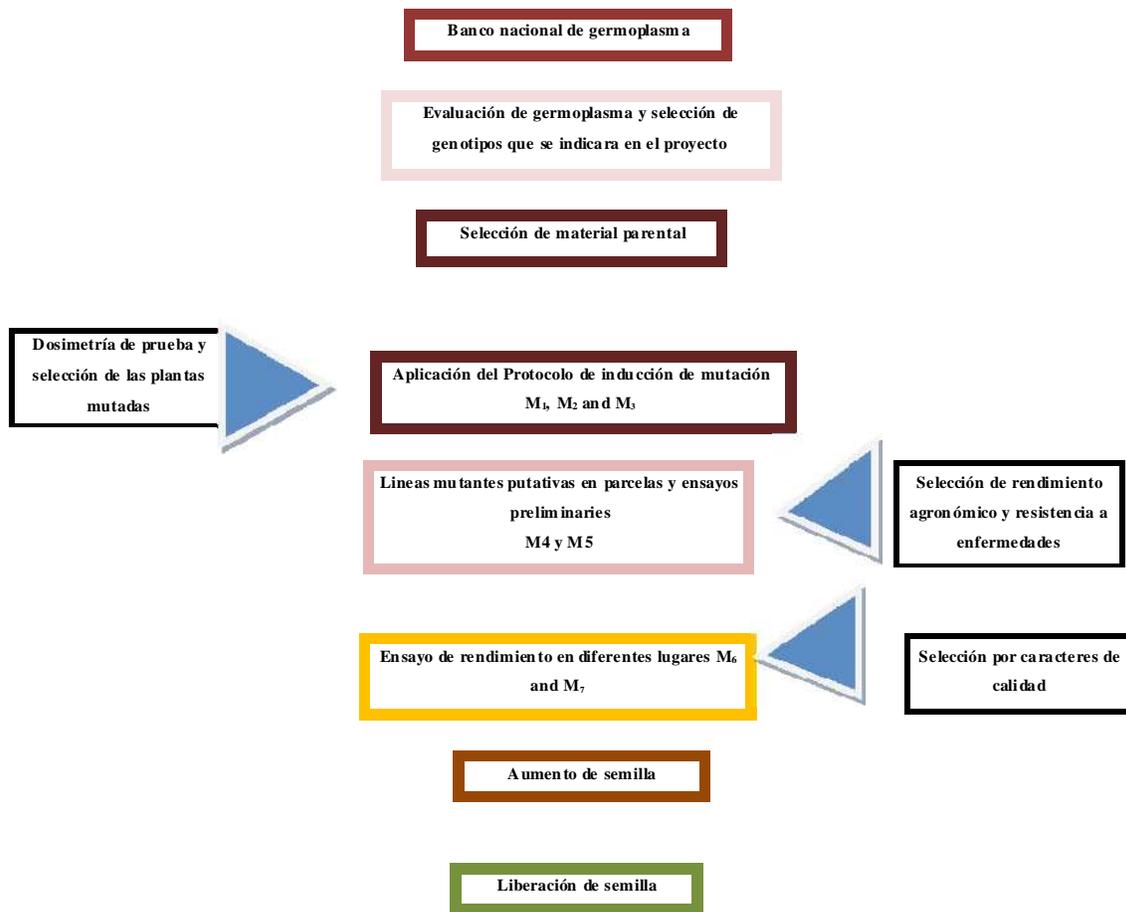


Figura 3. Diagrama de la mejora genética de Kiwicha con irradiación de rayos gamma del Programa de Cereales de la UNALM.

Fuente: Gómez *et al.*, (2009)

Gajdosova *et al.* (2004) informan del trabajo de mejoramiento genético de *Amaranthus cruentus* Var “Ficha” y el híbrido “K-433”, cuyas semillas fueron irradiadas con 175 Gy de rayos gamma. En la Generación M_4 se seleccionaron líneas mutantes con mejor peso de granos.

Yarango (2013) reporta mutaciones en *Amaranthus caudatus* empleando rayos gamma, señala modificaciones en la generación M_3 en las características cualitativas como color de tallo, ramificación de tallo, presencia de estrías, color de estrías, color de hoja, manchas en la hoja, forma de hoja, márgenes de hoja, borde de hoja, forma de inflorescencia, densidad

de inflorescencia, actitud de inflorescencia, color de inflorescencia, bráctea desarrollada, color de semilla y tipo de semilla. Además, en características cuantitativas como altura de planta, rendimiento por planta y días a madurez.

Gómez & Eguiluz (2013) así como Gómez (2014) informa sobre la obtención de mutantes en quinua (*Chenopodium quinoa*) por modificaciones en la morfología de la inflorescencia, hojas y color de grano, altura de planta; entre otros caracteres.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Material vegetal:

Semillas secas de la variedad ILLPA

Semillas tratadas con rayos gamma – Generación M₁

Semillas de la Generación M₂

Materiales de campo

- Libreta y registros de campo
- Insumos: Compost y pesticidas
- Lampas
- Azadón
- Rastrillo
- Hoces
- Cordeles
- Carteles
- Bandejas plásticas
- Wincha métrica
- Bolsa de papel Kraft
- Lápiz y marcadores
- Sacos o bolsas plásticas
- Regla de madera
- Carretilla
- Ventilador o venteadora
- Cinta de embalaje
- Cámara fotográfica
- Mochila pulverizadora

Materiales de laboratorio

- § Pinzas
- § Placas petri
- § Balanza eléctrica
- § Balanza de precisión
- § Bandejas plásticas
- § Bolsas de papel Kraft
- § Lápiz y marcadores

Materiales de campo y Laboratorio

- § Insumos agrícolas (fertilizantes, herbicida, insecticida) y otros

Equipos

- § Herramientas de campo
- § Equipos de Laboratorio

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Generación M₁

Se generaron a partir de semillas de las variedades ILLPA mediante la irradiación con rayos gamma en el Instituto Peruano de Energía Nuclear. Se irradiaron 250 g de semillas en las dosis de 0, 100, 200, 300, 400, 500 Gray.

Este material fue evaluado en laboratorio y campo.

Fase de Laboratorio

Dosimetría:

Se tomaron 300 granos irradiados de cada dosis y del testigo sin irradiar y se sembraron en bandejas en grupos de 100 granos por repetición con el objetivo de evaluar el porcentaje de germinación, supervivencia y altura de planta.

Se analizaron los resultados empleando el diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Fase de campo

Se sembró cada dosis en forma masal en canteros; individualizando las dosis. El cultivo se condujo en condiciones de La Molina bajo un manejo convencional o comercial a lo largo

de su desarrollo fenológico, realizando las respectivas labores agronómicas típicas del cultivo de cañihua. En la fase de maduración de cosecharon las plantas sobrevivientes en forma individual en cada dosis.

Se incluyó un testigo referencial o sin irradiación dentro de los tratamientos estudiados.

Se analizaron los resultados empleando el diseño completamente al azar con tres repeticiones.

3.2.2 Generación M₂

Generación M₂

Esta fase de campo se realizó en los canteros previamente preparados. Se sembraron las semillas de plantas individuales cosechadas en la generación M₁. Se sembró un surco por planta. Cada surco de 1 m de largo y 0.4 m de ancho. Se incluyó un testigo referencial o sin irradiación

Se realizaron evaluaciones morfológicas con los descriptores de la cañihua, ciclo de vida y altura de planta (IPGRI *et al.*, 2005). Se seleccionaron plantas con caracteres diferentes a los testigos referenciales o sin tratar.

3.3. LABORES CULTURALES

Las siembras en campo; debido al tamaño muy pequeño de las semillas y plantas de cañihua, se hicieron en canteros, con un sustrato rico en nutrientes. El sustrato presentaba una textura franco - arenosa, con pH ligeramente alcalino (7.7). Tenía pocos carbonatos y un contenido medio de materia orgánica (2.2 por ciento). Tenía niveles altos de fósforo (60.8 mg/kg de suelo) y potasio (375.0 mg/kg de suelo). La capacidad de intercambio catiónico fue de 17.1 cmol/kg de suelo. El sustrato se caracterizó como no salino, pues presentaba una conductividad eléctrica de 0.7 dS/m.

Durante todo el periodo de cultivo se irrigó adecuadamente, con humedad óptima. Se aplicaron nutrientes (N - P205 -K20) en cantidades adecuadas para lograr plantas vigorosas. Se controló con fungicidas e insecticidas apropiados la presencia de enfermedades e insectos.

3.4. EVALUACIONES

a) Cuento de plantas

Se contó el número de plantas en cada uno de los surcos con el fin de determinar el número total de plantas emergidas en cada tratamiento. Esta evaluación se llevó a cabo a los 10 y 30 días después de la siembra.

b) Mutaciones de cotiledones

c) Mutaciones de clorofila o pigmentos

d) Mutaciones morfológicas o fisiológicas

Esta evaluación se realizó teniendo en cuenta los descriptores de la cañihua (IPGRI et al., 2005). Se incluye en el Anexo 1.

e) Frecuencia de Mutaciones

Se contaron todas las variantes que no se observaron en el testigo sin irradiar. Estas variantes se consideraron como mutantes candidatos.

La frecuencia de cada tipo de mutación fue calculado empleando la siguiente formula:

$$? = \frac{\text{° d} / \text{ád} /}{\text{°} /}$$

3.4.1. Diseño experimental

- **Generación M₁**

En el caso de la generación M₁, se utilizó un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones, para evaluar los caracteres de germinación, supervivencia, y longitud de parte aérea.

- **Generación M₂**

No se utilizó diseño experimental debido al tipo de experimento.

Se prepararon bases de Excel con la información recopilada y se determinó la frecuencia de mutaciones en base a la formula mencionada anteriormente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OBJETIVO 1

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE RAYOS GAMMA QUE INDUCE MUTACIONES EN CAÑIHUA

Este objetivo fue logrado mediante la evaluación de dos generaciones M_1 y M_2 ; en ellas se evaluaron los efectos somáticos y los efectos genéticos o las mutaciones.

4.1. GENERACIÓN M_1

4.1.1. Dosimetría- Condiciones controladas (Laboratorio)

Se determinó evaluando el efecto somático del tratamiento mutagénico en las semillas y plántulas desarrolladas de ellas. Estos efectos somáticos están relacionados con los daños fisiológicos causados por la irradiación, no son heredables pero si se manifiestan en forma evidente afectando en diferentes grados la germinación, supervivencia, altura de planta, quimeras, rendimiento-esterilidad entre otros caracteres; dependiendo del especie y el agente mutagénico.

En la presente investigación se evaluaron los efectos de la radiación en la germinación, supervivencia, altura de plántula y porcentaje de esterilidad y los resultados se presentan a continuación:

4.1.1.1. Germinación (%)

Esta variable fue medida a los 10 días después de sembrar las semillas de la variedad ILLPA en bandejas en condiciones controladas. En el **Cuadro 6** se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en el porcentaje de germinación; comparados con el tratamiento testigo sin irradiar. Se puede apreciar diferencias altamente significativas para tratamientos o dosis de irradiación. El Coeficiente de Variación fue de 3.81 por ciento.

Cuadro 6: Valores de Cuadrados medios y Significancia del Análisis de Variancia del porcentaje de germinación en bandejas, de la generación M₁ de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Ilpa bajo condiciones controladas. La Molina 2013 A.

FV	GL	Germinación
Tratamientos	5	637.82 **
Error	12	8.00
Total	17	
CV		3.81%

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

En el **Cuadro 7** se presenta los resultados de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de germinación; que muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos de radiación y el testigo sin radiación. Se puede apreciar que el porcentaje de germinación varió de 55 a 94 por ciento, observándose una disminución del porcentaje de germinación con el incremento de la dosis. Siendo el tratamiento de 500 Gy el de menor porcentaje de germinación y el testigo el de mayor porcentaje de germinación, dicho efecto puede atribuirse al daño fisiológico producido por el agente mutagenico. Los resultados obtenidos para el porcentaje de germinación concuerdan con los obtenidos por Kamau *et al.* (2011); quienes reportaron que, la variedad de zarandaja Kenya (DL002) expuesta a diferentes dosis de rayos gamma (150, 200, 250, 300 y 350 Gy) mostraron porcentajes de germinación diferentes no significativas a excepción de las dosis de 200 y 350 Gy, con respecto al tratamiento testigo; concluyendo que, el porcentaje de germinación se ve disminuido con el incremento de la dosis de rayos gamma.

También Chowdhury y Singh (1980) indican que al irradiar semillas de seis variedades de Frijol y quinchoncho (*Cajanus cajanus* (L.) Millsp) con dosis de 200 – 800 Gy observaron reducción de la germinación en todos los tratamientos. Además estos autores observaron un mayor efecto varietal en el quinchoncho.

Cuadro 7: Valores Promedios y prueba de Significación Tukey ($\alpha = 0.05$) del porcentaje de Germinación, a los días de la siembra, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Ilpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013

Tratamientos	Germinación (%)	Tukey ($\alpha = 0.05$)
Testigo	94.00	a
100 Gy	85.33	b
200 Gy	78.67	b
300 Gy	70.00	c
400 Gy	62.33	c
500 Gy	55.00	cd
Promedio (%)	74.2	

En general se concluye que el incremento de las dosis origina una reducción en la germinación; observándose diferentes grados de radio sensibilidad de las especies (Ciftci *et al.*, 2006; Albokari *et al.*, 2012; Scaldaferrero *et al.*, 2013; Argumedeo, 2013; Arisha *et al.*, 2014;).

4.1.1.2. Supervivencia (porcentaje)

Se contó el número de plántulas que sobrevivieron a los 30 días después de sembrar la semilla en bandejas. En el **Cuadro 8** se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) el efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en el porcentaje de supervivencia; y en el **Cuadro 9** se presenta los resultados de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$).

En el análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia, se detectó diferencias significativas. La prueba comparativa de significación de Tukey ($\alpha = 0.05$) muestra que las plantas testigo tuvieron un mayor porcentaje de supervivencia con un 90 por ciento; el rango de supervivencia varió de 8.33 a 90 por ciento; correspondiendo el valor más bajo a la dosis de 500 Gy y la más alta al testigo sin irradiación, respectivamente. Los resultados concuerdan con los hallados por Pabón (2011); quien en su estudio de inducción de mutaciones mediante

radiaciones gamma de *Pasiflora edulis* Sim (var. *edulis*) afirma que encontró un aumento considerable de mortalidad a medida que se incrementaba la dosis de radiación.

Cuadro 8: Análisis de Varianza del porcentaje de Supervivencia de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F. cal	F. tab. (0.05)
Tratamientos	5	13115.17	2623.03	251.14	**
Error	12	125.33	10.44		
Total	17	13240.50			

CV	3.231786572	6.36%	PROMEDIO	50.83
----	-------------	--------------	----------	--------------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

Cuadro 9: Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) del porcentaje de Supervivencia, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013

Tratamientos	Supervivencia (%)	Tukey ($\alpha = 0.05$)
0 Gy (testigo)	90.00	a
100 Gy	75.00	b
200 Gy	55.00	c
300 Gy	46.00	d
400 Gy	30.67	e
500 Gy	8.33	f

Asímismo, Argumedo (2013) expuso a diferentes dosis de rayos gamma (0, 200,300 Gy) semillas de trigo concluyendo que, el porcentaje de supervivencia disminuye con el incremento de la dosis de rayos gamma.

También podríamos decir que la dosis letal (DL50) para el cultivo de cañihua vr. Illpa estaría entre la dosis 200 y 300 Gy; bajo condiciones de esta investigación.

4.1.1.3. Altura de plántula (cm)

En el **Cuadro 10** se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en la altura de plántula (cm); y en el **Cuadro 11** se presenta el resultado de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$).

La altura de planta; mostró un rango de 3.8 a 21.57 cm; correspondiendo el menor valor a la dosis de 500 Gy y el más alto al testigo sin irradiar. Al igual que las características presentadas previamente se observó una reducción de altura de planta concordante con el incremento de la dosis de irradiación. Resultados similares fueron informados para varias especies (Ciftci *et al.*, 2006; Albokari *et al.* 2012; Scaldaferrero *et al.*, 2013; Arisha, *et al.*, 2014).

Cuadro 10: Análisis de Varianza para altura de plántula (cm), de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcal	F tab. (0.05)
Tratamientos (Dosis de rayos gamma)	5	644.67	128.93	366.64	**
Error	12	4.22	0.35		
Total	17	648.89			

CV	0.593014896	5.40%	PROMEDIO	10.99
----	-------------	-------	----------	-------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

Cuadro 11: Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para altura de planta, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Ilpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Tukey 0.05
Testigo	21.57	a
100 Gy	15.07	b
200 Gy	11.17	c
300 Gy	8.83	d
400 Gy	5.47	e
500 Gy	3.83	e

4.1.2. Dosimetría – Condiciones de campo

4.1.2.1. Germinación (%)

En condiciones de campo (canteros) se determinó el nivel de germinación de los granos de cañihua con los tratamientos estudiados. En el **Cuadro 12** se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en el porcentaje de germinación; y en el **Cuadro 13** se presenta el resultado de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$). El **Grafico 4** muestra el porcentaje de germinación, a los 10 días, de los seis tratamientos (testigo, 100 Gy, 200 Gy, 300 Gy, 400Gy y 500 Gy).

Cuadro 12: Análisis de Varianza para porcentaje de germinación de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Ilpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F.cal	F tab. (0.05)
Tratamientos	5	9973.11	1994.62	216.28	3.11
Error	12	110.67	9.22		
Total	17	10083.78			

CV	3.0368	5.72%	PROMEDIO	53.11
----	--------	--------------	----------	--------------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

Cuadro 13: Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de germinación, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013

Tratamientos	Promedio	Tukey ($\alpha=0.05$)
Testigo	81.33	a
100 Gy	75.33	a
200 Gy	67.00	ab
300 Gy	47.33	c
400 Gy	30.67	d
500 Gy	17.00	e

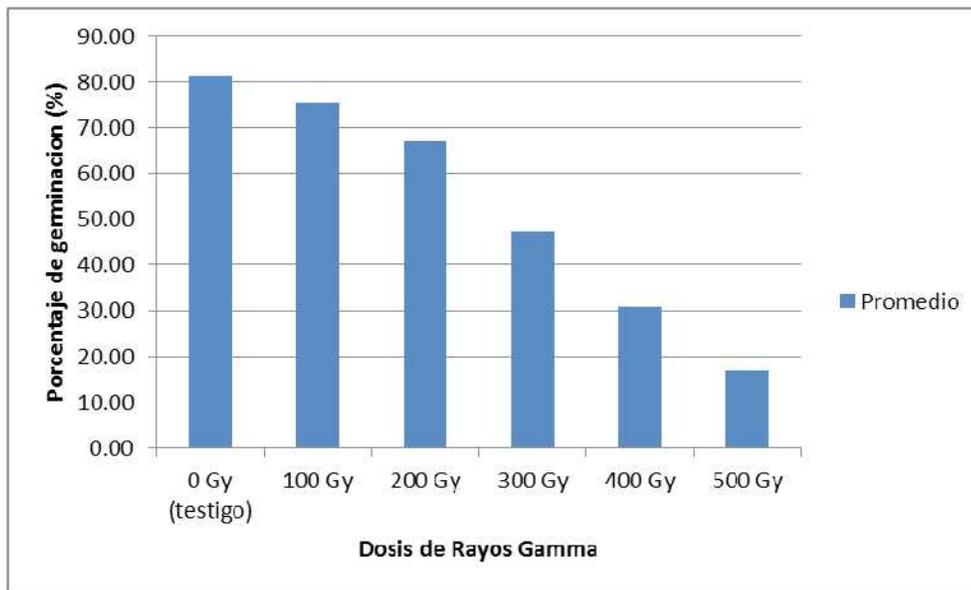


Gráfico 4. Porcentaje de germinación de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa, de la generación M1 de cañihua vr. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

El porcentaje de germinación, en campo fue menor en general al observado en condiciones controladas para todos los tratamientos y muestra diferencias significativas. Sin embargo el efecto de la irradiación fue similar. Se observó un rango de germinación de 17 a 81.33 por

ciento, correspondiendo el menor valor a la dosis de 500 Gy y el mayor al tratamiento testigo sin irradiación. En condiciones de campo se apreció que la dosis letal 50 estuvo aproximadamente en la dosis de 300 Gy. Estos resultados concuerdan con los hallados por Kamau *et al.* (2011), quienes encontraron diferencias para la emergencia en campo a diferentes dosis de rayos gamma para semillas de zarandaja variedad DL002 en Kenya.

4.1.2.2. Supervivencia (porcentaje)

Se contó el número de plántulas que sobrevivieron a los 30 días después de sembrar la semilla en campo. En el **Cuadro 14** se presentan los resultados de análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en el porcentaje de supervivencia; y en el **Cuadro 15** se presenta el resultado de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 14. Análisis de Varianza para porcentaje de Supervivencia, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F. cal	F. tab. (0.05)
Tratamientos	5	11074.44	2214.89	355.96	**
Error	12	74.67	6.22		
Total	17	11149.11			

CV	2.4944	6.60%	PROMEDIO	37.78
----	--------	-------	----------	-------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

El porcentaje de supervivencia en campos muestra diferencias significativas, siendo el rango de supervivencia de 5.33 a 81.33 por ciento, correspondiendo el valor menor a la dosis de 500 Gy y el más alto al testigo sin irradiación. Se observa una reducción en supervivencia a medida que la dosis de radiación se incrementa.

Cuadro 15. Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para el porcentaje de supervivencia, de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Tratamientos	Promedio	Tukey ($\alpha = 0.05$)
0 Gy (testigo)	81.33	a
100 Gy	50.00	b
200 Gy	41.67	c
300 Gy	34.33	d
400 Gy	14.00	e
500 Gy	5.33	f

Con estos datos, al igual que el porcentaje de supervivencia en bandeja, podríamos decir que la dosis Letal media (DL_{50}) para el cultivo de cañihua podría estar en 100 y 200 Gy. Predieri, 2001, señala que el procedimiento para fijar la dosis apropiada está basado en la radiosensibilidad del tejido, la cual es estimada a través de la respuesta fisiológica del material irradiado. Se debe determinar la dosis que causa un 50% de reducción del crecimiento vegetativo del material tratado (DL_{50}) cuando es comparado al testigo en el primer ciclo vegetativo después del tratamiento.

4.1.2.3. Altura de planta (cm)

Se realizó mediante la medición de las plantas en la fase de maduración desde el cuello hasta el extremo apical aéreo. En el **Cuadro 16** se presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en la altura de planta (cm); y en el **Cuadro 17** se presenta el resultado de a prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$).

La altura de planta, en campo, fue afectada en forma similar al de los tratamientos en condiciones controladas, es decir la reducción fue mayor con el incremento de la dosis de irradiación. El rango de altura fue de 12 a 62 cm; correspondiendo el menor valor al tratamiento de 500 Gy y el mayor al testigo sin irradiar. La reducción de altura en un 50 por ciento con respecto al testigo es causado por las dosis 200 a 300 Gy.

Cuadro 16. Análisis de Varianza para altura de planta (cm), de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) vr. Ilpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F.cal	F. tab. (0.05)
Tratamientos	5	5018.67	1003.73	71.98	3.11
Error	12	167.33	13.94		
Total	17	5186.00			

CV	3.7342	11.20%	PROMEDIO	33.33
----	--------	---------------	----------	--------------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

Cuadro 17. Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para altura de planta (cm), de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Ilpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Tukey ($\alpha=0.05$)
0 Gy (testigo)	62.00	a
100 Gy	45.00	b
200 Gy	35.67	b
300 Gy	26.33	bc
400 Gy	19.00	c
500 Gy	12.00	c

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1995) reporta la dosis que reduce en un 50 por ciento la altura de la planta de algunas especies de leguminosas, tales como: *Cajanus cajan* (150 – 210 Gy), *Phaseolus vulgaris* (150 – 300 Gy), *Phaseolus lunatus* (90 – 160 Gy), *Phaseolus aureus* (650 – 1000 Gy), *Vigna unguiculata* (300 – 500 Gy).

Estos resultados concuerdan con los hallados por Argumedo (2013) quien encontró diferencias significativas para la altura de planta a diferentes dosis de rayos gamma para semillas de trigo selección Arequipa en la Molina.

La disminución en la altura de planta usando radiaciones ha sido reportada por diversos autores. Al respecto, Canul *et al.* (2012) reportaron la disminución de altura en plantas irradiadas de Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*). A su vez; Iglesias *et al.* (2010) señalaron la reducción de altura de plántulas regeneradas a partir de semillas de oyamel (*Abies religiosa*) irradiadas.

4.1.2.4. Rendimiento/tratamiento (g.)

Se realizó mediante la medición de peso de los granos cosechados al finalizar el ciclo de vida del cultivo en campo. En el **Cuadro 18** se presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) del efecto de la aplicación de cinco dosis de rayos gamma en el rendimiento/tratamiento (gr.); y en el **Cuadro 19** se presenta el resultado de la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 18. Análisis de Varianza para rendimiento/tratamiento (g), de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Fuentes de variación	G.L.	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F. cal	F. tab. (0.05)
Tratamientos	5	149019.33	29803.87	149.91	3.11
Error	12	2385.76	198.81		
Total	17	151405.09			

CV	14.1	19.44%	PROMEDIO	72.52
----	------	--------	----------	-------

** : Significancia al 0.05 de probabilidad

NS: No significativo

El rendimiento/tratamiento tuvo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados. El rango fue de 0.50 a 261.9 g; correspondiendo el menor valor a la dosis de 500 Gy y el mayor valor al testigo sin irradiar. El número de plantas cosechadas fue igual para cada tratamiento y la reducción del rendimiento se debió al efecto de la radiación que se manifestó

con un alto porcentaje de esterilidad y bajo vigor de las plantas que se hizo más intenso con el incremento de la dosis.

Cuadro 19. Valores Promedios y prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) para rendimiento/tratamiento (g), de la generación M1 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2013.

Tratamientos	Rendimiento/ tratamiento	Tukey ($\alpha=0.05$)
0 Gy (testigo)	261.90	a
100 Gy	94.90	b
200 Gy	56.80	b
300 Gy	20.00	b
400 Gy	1.00	b
500 Gy	0.50	b

El mismo resultado obtuvieron Hernández (2013) cuando expuso rizomas de heliconias (*Heliconia bihai*) a los rayos gamma que produjo un efecto severo en la mayor parte de variables evaluadas como son sobrevivencia, germinación y área foliar.

4.2. GENERACIÓN M2

Efectos Genéticos

En esta generación se evaluaron y observaron mutaciones morfológicas y fisiológicas. Estas mutaciones se consideran en esta generación como “candidatas” para ser ratificadas en la generación M₃ mediante la prueba de progenie y homocigosidad.

4.2.1 Mutaciones de cotiledones

En los tratamientos estudiados no se observaron mutaciones en hojas cotiledonales que si fueron informados por Gómez (2014) para kiwicha (*Amaranthus caudatus*).

4.2.2 Mutaciones de clorofila o pigmentos

En este estudio no se observaron mutaciones de clorofila y pigmentos. Gómez-Pando y Eguiluz-de la Barra (2013) y Gómez (2014) señala que las mutaciones en estas características son muy raras en quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) comparadas a cereales como la cebada.

4.2.3. Mutaciones morfológicas y fisiológicas

Esta evaluación se realizó teniendo en cuenta los descriptores del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (International Plant Genetic Resources Institute). (IPGRI *et al.*, 2005).

Se evaluó las hojas, tallos, inflorescencias, granos y color de granos, encontrándose diferencias con el testigo sólo en la forma de hoja y en el tamaño de hoja.

4.2.3.1. Forma de la lámina foliar - Fasciación

La variedad Ilpa presenta una lámina foliar ancha aovada según el Descriptor de IPGRI empleado. En las poblaciones de todas las dosis se observó hojas fasciadas (**Foto 10, 11, 12 y 13**). La fasciación, también conocida como **crestación** o **crístación**, puede ser provocada por una mutación en las células meristemáticas. Algunas plantas heredan esta condición; sin embargo, esta alteración no representa un daño mortal a la planta, si bien el peso y el volumen del tejido en cuestión suelen aumentar de forma irregular. La fasciación es rara por lo general, pero se presenta en al menos una tercera parte de las plantas vasculares, con particular incidencia en miembros de las familias Amaranthaceae y Cactaceae, ambas pertenecientes al orden Caryophyllales (Flores, 1994); a la cual pertenece la cañihua.



Foto 10. Testigo: Forma de la lámina foliar ancha aovada



Foto 11. Fasciación tipo 1



Foto 12.
Fasciación tipo 2



Foto 13.
Fasciación tipo 3

Biggeli (1990) refiere que la fasciación se debe a alteraciones genéticas o depende de alguna condición ambiental. Ferrarotto y Jáuregui (2006), describieron los cambios anatómicos generados en tallos fasciados de *Amaranthus cruentus* para identificar los cambios que se producen y el tipo de fasciación.

White (1917) fue el primero en atribuir un símbolo a este gen, en este caso ***Fa*** para la forma de tipo salvaje. Esta morfología coincide con la encontrada por Hofmann en 1926 (citado por Ferrarotto, 2012) para la primera generación de descendientes de plantas de caraota tratadas con hidrato de cloral, así como aquellas con fusión de los tres folíolos y conformación de una sola lámina lobulada.

White (1948), afirma que en un mismo punto de crecimiento algunas plantas pueden ocasionalmente producir dos hojas aparentemente fusionadas originadas a partir del mismo primordio. Otro gen de la fasciación (FAS) también ha sido documentado por Sinjushin y Gostimskii (2008).

Xue-Bai *et al.* (2000) estudio el efecto mutagénico de radiación gamma Cobalto ^{60}Co en soya observando en la M2 plántulas con las primeras hojas unidas y cotiledones arrugados.

4.2.3.2. Tamaño de hoja

En el tratamiento de 100 Gy y 200 Gy se observaron plantas con hojas marcadamente más grandes que las del testigo sin irradiar (**Foto 14** y **15**) y se consideró como “mutación candidata” para tamaño de hoja.

Gómez (2014) informa modificaciones en hojas en kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Var CICA por efecto de la aplicación de rayos gamma.



Foto 14. Comparación del Tamaño de hoja con respecto al testigo (derecho) sin irradiar.



Foto 15. Planta con mayor tamaño de hojas

4.2.3.3. Ciclo de vida

En la generación M_2 para cinco dosis de radiación gamma, se identificaron mutantes con un ciclo de vida mayor que el testigo. El testigo sin irradiar cumplió el ciclo de vida en 150 días después de la siembra (dds), mientras que 7 plantas de la dosis de 100 Gy, 5 plantas de la dosis 200 Gy y 5 plantas de la dosis de 300 Gy tuvieron un periodo vegetativo de 165 - 170 dds; bajo las mismas condiciones de manejo agronómico y ambiente (**Foto 16**). Mehta *et al.* (1994) trataron una variedad local de soya Kalitur con rayos gamma y EMS. Ellos informaron de mutantes con un ciclo de maduración superior al material parental. Gómez (2014) informa de mutaciones en ciclo de vida en *Amaranthus caudatus* var Selección Huacho con 400 GY de radiación gamma.



Foto 16. Comparación del ciclo de vida con respecto al testigo (derecho) sin irradiar.

4.2.3.4. Vigor

Se observaron plantas con mayor vigor que el testigo en las dosis de 100, 200 y 300 Gray (**Foto 17**). Siete plantas con un marcado mayor vigor que el testigo fueron identificadas en la generación M_2 de soya tratada con neutrones por Humphrey (1951) y posteriormente esta misma mutación fue confirmada por Humphrey (1954).



Foto 17. Planta vigorosa

OBJETIVO 2

IDENTIFICACIÓN DEL ESPECTRO DE MUTACIONES EN UNA POBLACIÓN M₂ DESARROLLADA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS GAMMA.

En el **Cuadro 20** se presenta el espectro de mutaciones candidatas observadas en la presente investigación. Se puede apreciar que en la dosis de 100 Gy y 200 Gy, se observaron mutaciones de vigor, hojas grandes, ciclo de vida (plantas tardías) y hojas fasciadas. En la dosis de 300 Gy se encontró mutaciones candidatas de vigor, ciclo de vida (plantas tardías) y hojas fasciadas. En la dosis de 400 Gy sólo se observó hojas fasciadas y en la de 500 Gy se identificó vigor y hojas fasciadas. En general hubo cuatro tipos de mutaciones candidatas en las dosis más bajas y el número de mutaciones disminuyó con las dosis más altas. Probablemente el mayor número de plantas en las dosis más baja permitió identificar mayor cantidad de mutaciones. Novak y Brunner (1992) señalaron que a medida que aumentaba la dosis de radiación, se incrementa el deterioro de la planta y disminuye la frecuencia de mutaciones económicamente útiles.

Cuadro 20. Espectro de mutaciones candidatas identificadas en la población M₂ de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2014

Tipo de cambio o Mutaciones Candidatas	100 Gray	200 Gray	300 Gray	400 Gray	500 Gray
	N° Plantas				
Vigor	45	26	17	0	2
Hojas grandes	9	2	0	0	0
Ciclo de vida-Tardíos	7	5	5	0	0
Hojas fasciadas	3	4	8	5	1
TOTAL PLANTAS	6784	5675	4504	453	114

OBJETIVO 3

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE MUTACIONES.

En el **Cuadro 21** se presenta la frecuencia de las mutaciones observadas en la presente investigación. Se puede apreciar en general que la frecuencia de mutación para vigor de planta varió de 0.01754386 a 0.006633255. Para tamaño de hoja de 0.000352423 a 0.001326651. Para fasciación de 0.000442217 a 0.011037528. Para ciclo de vida (madurez

tardía) de 0.00103184 a 0.000881057. La frecuencia fue mayor en las dosis más altas para casi todos los tipos de mutación observadas.

Cuadro 21. Frecuencia de mutaciones observadas en la población M2 de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. Illpa irradiados con cinco dosis de rayos gamma bajo condiciones controladas. La Molina 2014

Tipo de Mutación Candidata	Dosis de rayos gamma				
	100 Gy	200 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
Vigor	0.006633255	0.004581498	0.003774423		0.01754386
Hojas Grandes	0.001326651	0.000352423			
Fasciación	0.000442217	0.000704846	0.001776199	0.011037528	0.00877193
Ciclo de Vida (tardios)	0.00103184	0.000881057	0.001110124		

V. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1

- Ø La dosis de 100, 200, 300, 400 y 500 Gy de rayos gamma inducen mutaciones en la cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) Var. ILLPA. Ejemplo la mutación conocida como fasciación

OBJETIVO 2

- Ø Todas las dosis dan lugar a un espectro similar en tipo de mutaciones vigor, tamaño de hoja, periodo vegetativo y fasciación, predominando esta última.
- Ø Se identificó y selecciono candidatos mutantes:
 - a. 90 plantas como probables mutantes candidatos para vigor con respecto al testigo sin irradiar rayos gamma.
 - b. 11 plantas como probables mutantes candidatos para tamaño de hoja.
 - c. 17 plantas como probables mutantes candidatos para mayor periodo vegetativo con respecto al testigo sin irradiar rayos gamma.
 - d. 21 plantas como probables mutantes candidatos para forma de la lámina foliar (fasciación).

OBJETIVO 3

- Ø En general la frecuencia de las mutaciones observadas como vigor, ciclo de vida (tardíos), tamaño de hoja, fasciación fue mayor en las dosis más altas para casi todos los tipos de mutación observadas

VI. RECOMENDACIONES

- Ø Continuar la evaluación de las plantas seleccionadas como probables mutantes para pruebas de progenie y homocigosidad y medir el comportamiento en las generaciones posteriores.

- Ø Continuar evaluando las plantas seleccionadas por otras características como rendimiento, respuesta a factores estresantes, bióticos y abióticos y calidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahloowalia B. & Maluszynski M. 2001. Induced mutations - A new paradigm In: Plant Breeding. *Euphytica* 118: 167-173.
- Ahloowalia B., Maluszynski M. & Nichterlein K. 2004. Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica* 135: 187-20p.
- Adamu A. & Aliyu H. 2007. Morphological effects of sodium azide on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Science World Journal* 2(4): 9-12.
- Albokari M., Alzahrani S. & Als Salman A. 2012. Radio sensitivity of some local cultivars of wheat (*Triticum aestivum*) to gamma irradiation. *Bangladesh. J. Bot.* 41(1): 1-5.
- Apaza V. 2010. “Manejo y Mejoramiento de Cañihua”. Editorial Altiplano E.I.R.L. Puno – Perú.
- Arisha M., Liang B., Muhammad Shah S., Gong Z. & Li D. 2014. Kill curve analysis and response of first generation *Capsicum annuum* L. B12 cultivar to ethyl methane sulfonate. *Genetics and Molecular Research* 13 (4): 10049-10061.
- Argumedo K. 2013. “Inducción de mutaciones en trigo (*Triticum turgidum* spp. durum) selección Arequipa empleando Rayos gamma”. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. 57 p.
- Babaei A., Nematzadeh G., Avagyan V. & Hashemi H. 2010. Radio sensitivity studies of morpho-physiological characteristics in some Iranian rice varieties (*Oryza sativa* L.) in M₁ generation. *Afr J Agric Res* 5(16): 2124 - 2130.
- Biggeli P. 1990. Occurrence and causes of fasciation. *Cecidology*. 5:57-62.
- Brauer H. 1976. *Fitogenética Aplicada*. Editorial Limusa, México.
- Briggs R. & Constantin M. 1997. Radiation types and radiation sources In: *Manual on Mutation Breeding*. 2° Edition. FAO/IAEA. Vienna. Tech Rep Series N° 119. 7-21 p.
- Brunner H. 1995. Radiation induced mutations for plant selection. *Applied Radiation and Isotopes* 46: (6/7): 589-594.
- Calle E. 1979. Morfología y variabilidad de las cañihuas cultivadas. En: II Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Riobamba, Ecuador.

- Cano J. 1971. Biología floral de la kañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno. Perú. 86 p.
- Canul K., García-Pérez, F., Campos-Bravo E., Barrios-Gómez E., De La Cruz-Torres E., García-Andrade J., Osuna-Canizalez F. & Ramírez S. 2012. Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 1495-1507. México.
- Ciftci C., Trkan A., Khawar K., Atak M. & zcan S. 2006. Use of gamma rays to induce mutations in four pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Turk. J. Biol.*, 30: 29-37.
- Chávez-Tafur I. 1991. Efecto comparativo de diferentes fuentes mutagénicas en cebada (*Hordeum vulgare* L.) var. Buenavista. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. 81 p.
- Chopra V. 2005. Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Curr. Sci.* 89(2): 353- 359.
- Chowdhury R. & Singh B. 1980 Effect of gamma irradiation on germination in pulse crops. *Tropical grain Legume Bulletin* N| 21. Haryana, India. 1-5 p.
- Cubero J. 2003. Introducción a la mejora genética vegetal. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. S.A.
- Domingo C., Andrs F. & Taln M. 2007. Rice cv. Bahia mutagenized population: a new resource for rice breeding in the Mediterranean basin. *Span J Agric Res* 5(3): 341-347.
- Donini P. & Sonnino A. 1998. Induced Mutation in Plant Breeding: current status and future outlook. In: *Somaclonal Variation and Induced Mutation in Crop Improvement*. S. Mohan Jain, D. S. Brar and B. S. Ahloowalia Editors. Kluwer Academic Publishers. pp. 255-291
- Elliot F. 1964. *Citogenética y Manejo de Plantas*. Cía Editorial Continental S.A. México, D.F.
- Favret E. 1972. El Mejoramiento de Plantas por Inducción de mutaciones en Latinoamérica. En *Induced Mutations and Plant Improvement*. IAEA. Vienna. 49 – 60 p.
- Fernández J., Fernández, A., Santos J. & Gonzales J. 2002. *Genética*. Primera Edición Editorial Ariel S.A. España.
- Ferrarotto M. & Jauregui D. 2006. Alteraciones anatómicas en el eje caulinar fasciado de *Amaranthus cruentus* L. *Acta Bot. Venez.* 29(2): 357-362.
- Ferrarotto M. 2012. Alteraciones Morfológicas de la primera hoja trifoliolada de *Phaseolus vulgaris* L. Cv. `tacarigua´. *Pittieria* 36 (2012): 77-86.
- Fita A., Rodríguez – Barruezo A. & Prohens J. 2008. *Genética y Mejora Vegetal*. España, Editorial Universidad Politcnica de Valencia.

- Flores H. 1994. Fasciación en un individuo de *Atriplex elegans* (Moq.) D. Dietr. (Chenopodiaceae). *Acta Botánica Mexicana*.
- Fu H., Li Y. & Shu Q. 2008. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice: implications of microsatellite markers for quality control. *Mol Breeding J* 22(2):281-28.
- Gardner E. 1975. *Principios de Genética*. 2 Ed. México, Editorial Limusa. 551 p.
- Gardner E. 1979. *Principios de Genética*. 5° Ed. México, Editorial Limusa. 716 p.
- Gajdosova A., Libiakova G. & Huska, J. 2004. Improvement Of Selected *Amaranthus* Cultivars By Means Of Mutation Techniques And Biotechnological Approaches *In Genetic Improvement Of Under-Utilized and neglected crops in low income food deficit countries through irradiation and related techniques*. IAEA-TECDOC-1426. *Proceedings of a final Research Coordination Meeting organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Pretoria, South Africa, 19–23 May 2003*:25-36.
- Gardner E. 1979. *Principios de Genética*. 5 Ed. México, Editorial Limusa. 716 p.
- Gómez L., Heros E. & Eguiluz-de la Barra A. 2006. Mejoramiento Genético de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) empleando inducción de mutaciones. *Revista Agroenfoque* 21(152): 32-37.
- Gómez L., Heros E. & Eguiluz-de la Barra A. 2009. Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) improvement by mutation induction in Peru, PER/5/030. *Plant Breeding & Genetics Newsletter*, 23: 32.
- Gomez-Pando L. & Eguiluz-de la Barra 2013. Developing Genetic Variability of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with Gamma Radiation for Use in Breeding Programs. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 349-355 doi: 10.4236/ajps.42046. Published Online February (<http://www.scirp.org/journal/ajps>).
- Gomez-Pando L. 2014. Development of improved varieties of native grains through radiation-induced mutagenesis. En: *Mutagenesis: Exploring novel genes and pathways*. Ed: N.B. Tomlekova, M.I. Kozgar, M.R. Wani. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands: 105-123.
- Heros E. 1999. Mejoramiento genético de la kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) mediante la inducción de mutaciones. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú, UNALM. 81 p.
- Hernández S. 2013. Inducción de mutaciones en heliconias por radiación Recurrente con Cobalto 60. Tesis Maestro en Ciencias. Montecillo, TEXCOCO. México, UNALM. 80 p.

- Humphrey L. 1951. Effects of neutron irradiation on soybeans. *Soybean Digest*. 12:11-12.
- Humphrey L. 1954. Induced mutations in soybean. *Soybean Digest*. 14:18-19.
- Iglesias-Andreu L., Sánchez-Velásquez L., Tivo-Fernández Y., Luna-Rodríguez M., Flores-Estévez N., Noa-Carrazana J., Ruiz-Bello C. & Moreno-Martínez J. 2010. Efecto de Radiaciones Gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et Cham. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. México. 16(1): 5-12.
- INIA-Puno. 2002. Informe de Investigación. Proyecto IFAD-NUS I Puno.
- INIA. 2004. Expediente técnico de liberación de nueva variedad de Kañiwa “INIA 406 ILLPA”. Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos Estación Experimental Illpa, Puno.
- INIA. 2005. Memoria anual 2005. Estación Experimental Agraria Illpa-Puno.
- IPGRI, PROINPA & IFAD. 2005. Descriptores para cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; International Fund for Agricultura Development, Roma, Italia. 45 p.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1984. Selection in Mutation Breeding. Proceedings of consultant Meeting. Joint FAO/IAEA.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1997. Mutant Varieties Data base. FAO/IAEA. Vienna. Austria. 225p.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1995. Manual on Mutation Breeding. International Atomic Energy Agency. Technical. Reports. Series N° 119. Vienna. Pp 33-42.
- Kamau E., Kinyua M., Kinplagat O. & Gohole L. 2011. Gamma Radio Sensitivity Determination for Lablab (*Lablab purpureus*) Bean. *Plant Mutation Reports*, Vol.2, N° 3, April. 2011.
- Konzak C., Nilan R. Wagner R. & Foster R. 1965. Efficient chemical mutagenesis. In IAEA/FAO. The use of induced mutations in plant breeding. Oxford, Pergamon Press. pp. 346-347.
- León J. 1964. Plantas alimenticias Andinas. Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico N° 6. 112 p.
- Maluszynski M., Ahloowalia B. & Sigurbjornsson B. 1995. Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement. *Euphytica* 85: 303 – 315.
- Maluszynski K., Zanten L. & Ahlowalia B. 2001. Officially released mutant varieties. The FAO/IAEA Database. *Mutation Breeding Rev.*, 12: 1-12.

- Maluszynski M., Kasha K. & Szarejko I. 2003. Published doubled haploid protocols in plant species. In: *Doubled Haploid Production in Crop Plants: A Manual*, Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P. & Szarejko, I. 309–335 p. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-1544-5, Dordrecht.
- Mehta A., Mehta S. & Tiwari A. 1994. Improvement of genetic architecture of a local cultivar Kalitur of soybean by mutation. *Indian J. Genet. & Plant Breed.*, 54(4): 357-359.
- Mendoza E. 1994. *Agrobiotecnología: La adaptación de las plantas al ambiente, no del ambiente a las plantas*. Editorial Iberoamericana S.A. Mexico. 78 p.
- Mendoza H. 2007. *Principios de Genética*. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 318 p.
- Micke A. 1988. Genetic improvement of grain legumes using induced mutations. An overview. In: *Improvement of Grain Legume Production Using Induced Mutations*. IAEA. Vienna. 1-51 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2015. Dirección de Competividad Agraria. Dirección de Informática Agraria. Series Históricas. Lima – Perú.
- Novak F. & Brunner H. 1992. Plant Breeding: Induced mutation technology for crop improvement. *IAEA bulletin*, 4: 25-33.
- Pabon L. 2011. “Inducción de mutaciones mediante radiaciones gamma de (*Passiflor edulis* Sim var. *edulis*)” Tesis de Grado de Magister. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá .93 p.
- Pinchinat A. 1968. La inducción de mutación en fitotecnia: una evaluación. In: *Primer Seminario Sobre la Enseñanza de Fitomejoramiento en las Facultades de Agronomía de América Central*. San Salvador, Guatemala. 68-80 p.
- Poehlman J. & Sleper D. 2003. *Mejoramiento genético de las cosechas*. 2 ed. México. Editorial Limusa. 511 p.
- Predieri S. 2001. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant cell, Tissue and Organ Culture* 64:185 – 210.
- Repo-Carrasco R. & Espinoza C. 2003. Valor nutricional y usos de los cultivos andinos quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* A.) FAO, Lima – Perú.
- Rekha K. & Langer A. 2007. Induction and assessment of morphobiochemical mutants in *Artemisia pallens* Bess. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 437-443 p.

- Robles, S. R. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. México. Editorial Limusa. 477 p.
- Robbelen G. 1990. Mutation breeding for quality improvement a case study for oilseed crops. Mutation Breeding Reviews, No. 6. IAEA. Vienna. 1- 43 p.
- Romero M. 1982. Inducción de Mutaciones en Cereales. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Romero M. & Gómez L. 1996. Cultivo de la cebada en el Perú. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Programa de Cereales. 43 p.
- Ruiz E. 2003. Disminución del cultivo de kañiwa en el Altiplano Peruano. Editorial los amigos del libro, La Paz – Bolivia.
- Sánchez-Monge E. 1955. Fitogenética (Mejora de plantas). Barcelona, España, Editorial Salvat. S.A. 528 p.
- Sanjinez F. 2001. Mejoramiento Genético del Cultivo de Arroz (*Oriza sativa L.*), mediante mutaciones inducidas. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Escuela de Post-Grado. Especialidad de Mejoramiento Genético de Plantas. Tesis de Grado de Magister Scientiae. Lima, Perú. 78 p.
- Scaldaferro M., Prina A., Moscone E. & Kwasniewska J. 2013. Effects of ionizing radiation on *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (Solanaceae). Applied Radiation and Isotopes 79: 103-108.
- Sinjushin A. & Gostimskii S. 2008. Genetic control of fasciation in pea (*Pisum sativum L.*). Russ. J. Genet. 44: 702–708
- Shu Q. & Lagoda P. 2007. Mutation techniques for gene discovery and crop improvement. Mol Plant Breed. 5: 193-195.
- Sigurbjornsson B. 1977. Introduction: Mutations In Plant Breeding. Programmes. Manual on Mutation Breeding, 2nd Edition, IAEA, Vienna.
- Sinnott E., Dunn L. & Dobzhansky T. 1961. Principios de genética. Barcelona. Editorial Omega. 581 p.
- Simmonds N. 1966. Colores en planta y semilla de cañahua, (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Journal of Heredity (21): 316-317. Traducción de Ana M. Fries.
- Slabbert M., de Ronde K., Caetano T., Spreeth, M. & Van den Heever E. 2004. Development And Evaluation of Mutant Germplasm of Amaranthus in Genetic improvement of under-utilized and neglected crops in low income food deficit countries through irradiation and related techniques. IAEA-TECDOC-1426. Proceedings of a final Research Coordination Meeting organized by the Joint FAO/IAEA Division of

- Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Pretoria, South Africa, 19–23 May 2003: 13-23.
- Soto J., Pinto M. & Rojas W. 2009. Distribución geográfica de los granos andinos y variabilidad genética. En: Soto J., (Editor). El arte de los Granos Andinos. Bioersivity, Nus-IFADII. Fundación PROINPA. La Paz. Bolivia.
- Tapia M. 1979. La Quinua y la Cañahua. Cultivos Andinos. IICA Bogota – Colombia. 220p.
- Udensi, O. & Ntui, V. 2013. Determination by flow cytometry polyploidy inducing-capacity of colchicine in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Pakistan Journal of Biological Sciences 16(13): 630-635.
- Udensi O., Ntia M. & Obianwa C. 2014. Optimizing induced mutation technique for the improvement of agronomic traits in pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] landraces. *Comunicata Scientiae* 5(3): 267-278.
- Ugorji O., Ikpeme E., Obu J. & Ekpenyong E. 2012. Assessing the mutagenic effects of gamma irradiation on *Cajanus cajan* (L.) Huth and *Vigna unguiculata* (L.) Walp landraces using morphological markers. *Comunicata Scientiae*. Volume 3, Issue 4, Pages 271-281.
- Van Harten A. 1998. Mutation Breeding: Theory and practical applications. Editorial University of Cambridge. England.
- Valdivia R. y Soto J. 2002. Caracterización participativa sobre usos, restricciones y oportunidades con comunidades y otros niveles de la cadena de kañiwa con un enfoque de género. En: Informe Técnico Anual. Taller Proyecto: “Elevar la contribución que hacen las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos”. Puno, Perú.
- White O. 1948. Fasciation. *Bot. Rev.* 14: 318-357.
- White O. 1917. Studies of inheritance in *Pisum*. II. The present state of knowledge of heredity and variation in peas. *Proc. Am. Philos. Soc.* 56: 487–588
- Xue-Bai M., Meng-Li F., Zhao-Xiao N., Guo-Yu H. & Liu-Bin H. 2000. Mutagenic effect of ⁶⁰Co gamma irradiation on soybean plants. *Soybean Sci.* 19(2):150-153.
- Yarango D. 2013. “Identificación y frecuencia de mutaciones en una población M3 de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) en condiciones de la Molina”. Tesis Ingeniero Agrónomo. Lima Perú, UNALM. 89 p.

ANEXO

ANEXO 1

Descriptores de la cañihua dado por la Agencia Internacional de Recursos Fitogenéticos. (IPGRI *et al.*, 2005)

1.- DESCRIPTORES DE LA PLANTA

Para las medidas cuantitativas la cifra anotada será la media de las plantas tomadas al azar en competencia completa (evitando plantas de bordura) y en las cualitativas en función al 50 por ciento de plantas de la población.

1.1 Hábito de crecimiento de la planta

‘Saihua’ si presenta ramificaciones escasas y dan la apariencia de ser más erectas, estrechas y con menor diámetro; ‘Lasta’ cuando sus ramificaciones son numerosas y se inician desde el cuello de la planta dando apariencia frondosa y con mayor diámetro y, ‘Pampalasta’ cuando sus tallos se presentan caídos o tendidos en los cuales solo sus extremos son erguidos.

(Figura 4)

1 Saihua

2 Lasta

3 Pampalasta

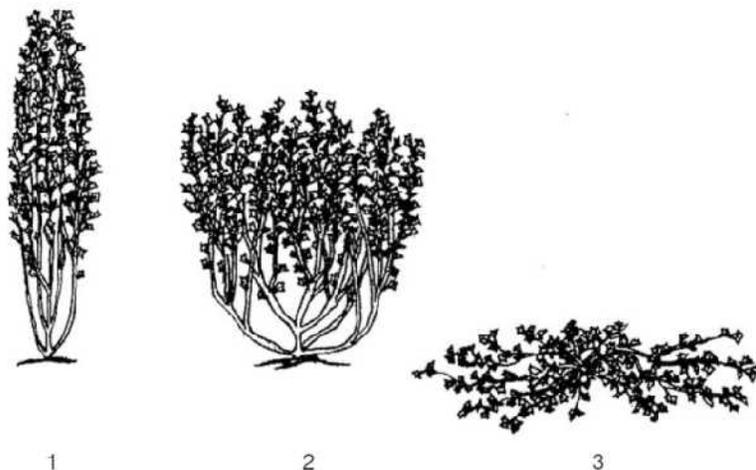


Figura 4. Hábito de crecimiento de la planta

1.2 ALTURA DE LA PLANTA (CM)

Medida a la madurez fisiológica, desde el cuello de la raíz hasta la altura máxima alcanzada.

Promedio de 10 plantas.

1.3 TALLO

1.3.1 Diámetro del tallo central [mm]

Medido en la parte media del tercio inferior de la planta en la madurez fisiológica.

Promedio de al menos 10 plantas.

1.3.2 Presencia de estrías

Observada en ramas primarias en floración.

0 Ausente

1 Presente

1.3.3 Color de estrías

Observado en ramas primarias en plena floración.

1 Verde

2 Amarillo

3 Rosado

4 Rojo

5 Púrpura

99 Otro

1.3.4 Color del tallo a la madurez fisiológica

Codificación basada en la tabla de colores Munsell (Muñoz *et al.*, 1993). (Véase el

Anexo III)

1 Amarillo claro

2 Amarillo

3 Verde amarillento

4 Verde agua

5 Verde claro

6 Verde oscuro

7 Crema suave

8 Crema oscuro

9 Pajizo

10 Rosado oscuro

11 Dorado

12 Anaranjado

- 13 Rojo
- 14 Café amarillento
- 15 Café claro
- 16 Café oscuro
- 17 Café rojizo
- 18 Púrpura pálido
- 99 Otro

1.3.5 Presencia de axilas pigmentadas

- 0 Ausente
- 1 Presente

1.3.6 Color de axilas pigmentadas

- 1 Verde
- 2 Amarillo
- 3 Rosado
- 4 Rojo
- 5 Púrpura
- 99 Otro

1.4 RAMIFICACIÓN

1.4.1 Número de ramas primarias

Número de ramas desde la base hasta el segundo tercio de la planta, en la madurez fisiológica.

1.4.2 Cobertura vegetativa [cm]

Medido a la madurez fisiológica, considerando la cobertura más ancha de la planta. Promedio de 10 plantas.

1.5 HOJA

Descripción de hojas del tercio medio de la planta, seleccionadas en plena floración de al menos 10 plantas.

1.5.1 Forma de la lámina foliar

(Figura 5)

- 1 Romboidal
- 2 Triangular
- 3 Ancha ovada

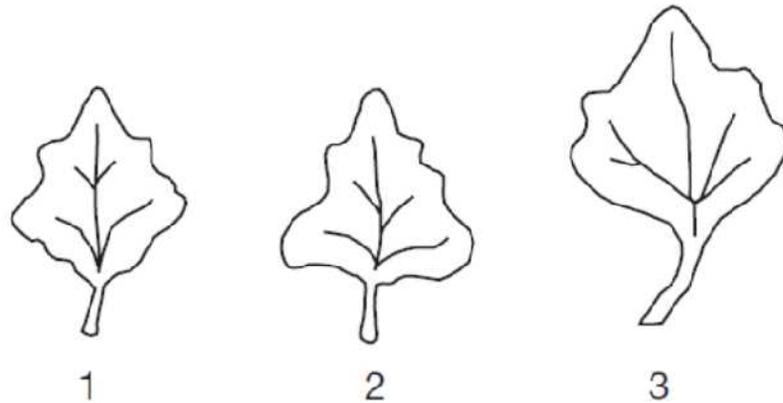


Figura 5. Forma de la lámina foliar

1.5.2 Borde de la lámina foliar

- 1 Entero (dientes ausentes)
- 2 Dentado (dientes presentes)

1.5.3 Número de dientes en la lámina foliar

Número total de dientes por hoja, media de al menos 10 hojas (una hoja por planta).

1.5.4 Longitud del pecíolo [cm]

Promedio de al menos 10 plantas (una hoja por planta).

1.5.5 Longitud máxima de la lámina foliar [cm]

Promedio de al menos 10 plantas (una hoja por planta).

1.5.6 Ancho máximo de la lámina foliar [cm]

Promedio de al menos 10 plantas (una hoja por planta).

1.5.7 Color de la hoja a la madurez fisiológica

(Véase Anexo III)

- 1 Amarillo claro
- 2 Verde amarillento
- 3 Verde agua
- 4 Verde claro
- 5 Verde oscuro
- 6 Verde azulado
- 7 Crema suave
- 8 Crema oscuro
- 9 Pajizo
- 10 Canela
- 11 Rosado claro
- 12 Rosado
- 13 Rosado oscuro
- 14 Dorado
- 15 Anaranjado
- 16 Rojo
- 17 Café amarillento
- 18 Café claro
- 19 Café oscuro
- 20 Café rojizo
- 21 Púrpura pálido
- 22 Púrpura
- 23 Morado
- 24 Gris
- 99 Otro

1.6 CARACTERÍSTICAS DEL GRANO

1.6.1 Grado de dehiscencia

Persistencia del grano en la planta cuando alcanza la madurez fisiológica.

- 3 Ligera
- 5 Regular
- 7 Persistente

1.6.2 Aspecto del perigonio

Registrado a la madurez fisiológica.

1 Semiabierto

2 Cerrado (abrazo completamente al grano)

1.6.3 Color del perigonio

(Véase Anexo III)

1 Amarillo claro

2 Amarillo

3 Verde amarillento

4 Verde agua

5 Verde claro

6 Verde oscuro

7 Crema suave

8 Crema oscuro

9 Pajizo

10 Canela

11 Rosado claro

12 Rosado

13 Rosado oscuro

14 Dorado

15 Anaranjado

16 Rojo

17 Café amarillento

18 Café claro

19 Café oscuro

20 Café rojizo

21 Púrpura pálido

22 Púrpura

23 Morado

24 Gris

25 Negro

99 Otro

1.6.4 Diámetro del grano [mm]

Promedio de 20 granos sin considerar el perigonio.

1.6.5 Peso de 1000 granos [g]

Registro del peso sin considerar el perigonio.

1.6.6 Peso hectolítrico del grano [g/cm³]

Peso de semilla en un volumen conocido.

1.6.7 Rendimiento de semilla por planta [g/planta]

Promedio en gramos de al menos 10 plantas.

1.6.8 Color del pericarpio

(Véase Anexo III)

- 1 Amarillo claro
- 2 Amarillo
- 3 Verde amarillento
- 4 Verde agua
- 5 Verde claro
- 6 Verde oscuro
- 7 Crema suave
- 8 Crema oscuro
- 9 Pajizo
- 10 Canela
- 11 Rosado claro
- 12 Rosado
- 13 Rosado oscuro
- 14 Dorado
- 15 Anaranjado
- 16 Rojo
- 17 Café amarillento
- 18 Café claro
- 19 Café oscuro
- 20 Café rojizo

- 21 Púrpura pálido
- 22 Púrpura
- 23 Morado
- 24 Gris
- 25 Negro
- 99 Otro

1.6.9 Forma del grano

(Figura 6)

- 1 Sub cilíndrico
- 2 Cónico
- 3 Sub lenticular
- 4 Sub cónico
- 5 Sub elipsoidal

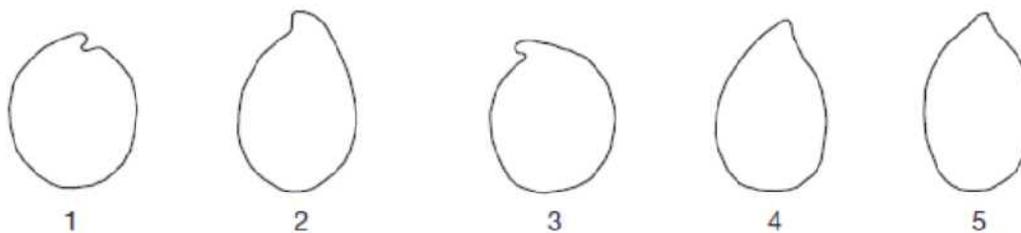


Figura 6. Forma del grano

1.6.10 Borde del grano

- 1 Afilado
- 2 Redondeado

1.7 ÍNDICE DE COSECHA

$$IC = (PG/PB + PG * 100)$$

PG: Peso del Grano

PB: Peso de la Broza

1.8 Notas

Especificar aquí cualquier otra información adicional.

2. DESCRIPTORES DE LA PLANTA

2.1 Fecha de siembra [AAAAMMDD]

2.2 Días a la ramificación

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas muestren el desarrollo de ramas primarias que aparecen en la base de la planta en forma opuesta.

2.3 Días a la floración

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas estén en plena floración en las ramas principales de la planta.

2.4 Días al estado de grano lechoso

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas presenten granos que liberen líquido blanquesino cuando se someten a presión.

2.5 Días al estado de grano pastoso

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas hayan alcanzado grano pastoso (apariencia pastosa).

2.6 Días a la madurez fisiológica

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas presenten granos que ofrecen resistencia a la presión.

2.7 Notas

Explíquese aquí cualquier otra información adicional.