

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE LÍNEAS MUTANTES DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CON MAYOR EFICIENCIA EN
EL USO DE NITRÓGENO”**

Presentado por:

MARÍA VERÓNICA DEL ROSARIO SÁNCHEZ VALENCIA

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima - Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) CON MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE
NITRÓGENO”**

Presentado Por:

MARÍA VERÓNICA DEL ROSARIO SÁNCHEZ VALENCIA

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Constantino Calderón Mendoza
PRESIDENTE

.....
Dra. Luz Gómez Pando
PATROCINADORA

.....
Dr. Jorge Jiménez Dávalos
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Enrique Aguilar Castellanos
MIEMBRO

Lima - Perú

2015

F30.
5352
T

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 NITRÓGENO EN EL SUELO	4
2.2 NITRÓGENO EN LA PLANTA	4
2.3 DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN EL SUELO, ABSORCIÓN Y TRANSLOCACIÓN EN LAS PLANTAS.	5
2.4 FERTILIZACIÓN PARA OPTIMIZAR RENDIMIENTOS.	6
2.5 IMPORTANCIA DEL USO EFICIENTE DEL NITRÓGENO.	7
2.6 USO EFICIENTE DE NITRÓGENO Y SUS COMPONENTES.	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 MATERIAL GENÉTICO	12
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	13
3.3 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO	14
3.3.1 CAMPO EXPERIMENTAL	14
3.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL	14
3.4 ANÁLISIS DE SUELO	15
3.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA	15
3.6 MANEJO DEL CULTIVO	16
3.7 EVALUACIONES	18
3.7.1 CARACTERES AGRONÓMICOS	18
3.7.2 CARACTERES DE CALIDAD	19
3.7.3 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN GRANO, TALLO E INFLORESCENCIA.	20
3.7.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO	20
3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL	21
3.9 SELECCIÓN DE GENOTIPOS SUPERIORES CONSIDERANDO VARIOS CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE CALIDAD	22
3.9.1 DISTANCIA EUCLIDIANA	22
3.9.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS SUPERIORES A TRAVÉS DEL CRITERIO DEL EXPERTO	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
4.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS	24

43972

4.1.1 RENDIMIENTO	24
4.1.2 NÚMERO DE DÍAS AL 50 POR CIENTO DE FLORACIÓN	30
4.1.3 NÚMERO DE DÍAS A LA MADUREZ	34
4.1.4 ALTURA DE PLANTA	37
4.1.5 DAÑO POR MILDIÚ (<i>Peronospora variabilis</i>)	42
4.2 CARACTERES DE CALIDAD	45
4.2.1 PESO DE MIL GRANOS	46
4.2.2 PORCENTAJE DE SAPONINA	50
4.2.3 PORCENTAJE DE PROTEÍNA	54
4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO EN LA PLANTA	59
4.3.1 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN TALLO	59
4.3.2 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN INFLORESCENCIA	64
4.3.3 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN GRANO	67
4.4 PARÁMETROS DE EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE NITRÓGENADO	71
4.4.1 EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO (EUN)	71
4.4.2 EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE USO DE NITRÓGENO (EFN)	75
4.4.3 EFICIENCIA AGRONÓMICA DE USO DE NITRÓGENO (EAN)	79
4.4.4 EFICIENCIA INTERNA DE UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO (EIN)	84
4.4.5 EFICIENCIA APARENTE DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO (ERN)	88
4.5 IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA SUPERIORES AL CRITERIO DEL EXPERTO	94
V. CONCLUSIONES	99
VI. RECOMENDACIONES	102
VII. BIBLIOGRAFÍA	103
VIII. ANEXOS	111

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01: Análisis de follaje de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). Instituto de Investigación Agropecuaria, Lima-Perú.....	6
Cuadro N° 02: Valores promedio de los datos climatológicos: humedad relativa máxima y mínima, precipitación total (mm), viento (m/s) durante el período Julio 2012- Enero 2013. La Molina, Lima-Perú.....	16
Cuadro N° 03: Dosis de fertilizantes empleadas en el experimento.....	17
Cuadro N° 04: Valores de caracteres agronómicos, de calidad de quinua y eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) objetivos del plan de mejoramiento para condiciones del Perú (PIPS en Cereales y Granos Nativos).....	23
Cuadro N° 05: Cuadrados medios de rendimiento (kg/ha), número de días al 50% floración, número de días a la madurez, altura de planta (cm), % daño por mildiú, peso de mil granos (g), % saponina y % proteína de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b - 2013a.....	26
Cuadro N° 06: Medias del rendimiento de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	27
Cuadro N° 07: Medias del número de días al 50 % de floración de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	31
Cuadro N° 08: Medias del número de días a la madurez de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	34
Cuadro N° 09: Medias de la altura de planta de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	39
Cuadro N° 10: Medias del porcentaje de daño por mildiú de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	43

Cuadro N° 11: Medias de peso de mil granos de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	47
Cuadro N° 12: Medias del porcentaje de saponina de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	51
Cuadro N° 13: Medias del porcentaje de proteína de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	55
Cuadro N° 14: Cuadrados medios de % nitrógeno en tallo, % nitrógeno en inflorescencia, % nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia fisiológica de nitrógeno, eficiencia agronómica de nitrógeno, eficiencia interna de utilización de nitrógeno y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.....	60
Cuadro N° 15: Medias del porcentaje de nitrógeno en tallo de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	61
Cuadro N° 16: Medias del porcentaje de nitrógeno en la inflorescencia de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	64
Cuadro N° 17: Medias del porcentaje de nitrógeno en grano de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	65
Cuadro N° 18: Medias de la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	72
Cuadro N° 19: Medias de la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EFN) de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....	76
Cuadro N° 20: Medias de la eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAN) de líneas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) desarrolladas mediante la aplicación	

de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....81

Cuadro N° 21: Medias de la eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....85

Cuadro N° 22: Medias de la eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b-2013a.....90

Cuadro N° 23: Valores de caracteres agronómicos y de calidad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del testigo LM89, observados en la presente investigación.....94

Cuadro N° 24: Distancia euclidiana promedio de las 13 líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo el criterio del experto, considerando caracteres asociados a la eficiencia de uso de nitrógeno desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.....98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 01: Análisis de suelo.....111

Anexo N° 02: Distancia euclidiana promedio de las 63 líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo el criterio del experto, considerando caracteres agronómicos, de calidad y eficiencia de uso de nitrógeno desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B – 2013A.....112

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un cultivo que ha ganado importancia en la última década debido al reconocimiento de su valor nutritivo, económico y agronómico. Su área de cultivo se ha incrementado en forma significativa en la región de sierra y costa. Los rendimientos en esta última región se encuentran en el rango de 3000 a 6000 kg/ha, logrados con dosis altas de fertilización; que por otro lado elevan los costos y al mismo tiempo originan contaminación ambiental. Considerando la necesidad de emplear menor cantidad de fertilizantes y lograr similares rendimientos se requiere de variedades con una alta eficiencia en el uso de los mismos. La quinua es una especie que ha evolucionado en condiciones marginales por lo que existe la posibilidad de encontrar genotipos valiosos eficientes en el empleo de los recursos ambientales y con buen potencial de rendimiento. En base a lo anteriormente mencionado, se realizó la presente investigación con los siguientes objetivos: Evaluar las características agronómicas y de calidad de las líneas mutantes de quinua variedad La Molina 89, estudiar la eficiencia en la absorción y uso del nitrógeno disponible y aplicado en el suelo e identificar genotipos valiosos, con mayor eficiencia en el uso de nitrógeno. Se estableció un experimento con 63 líneas mutantes y un testigo, aplicando las prácticas culturales de un campo comercial con una dosis de fertilización de 80-70-00 de nitrógeno y fósforo. Se evaluaron 13 variables cuantitativas, tanto agronómicas, de calidad y de eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado, Se usó un diseño experimental de Bloques Incompletos Parcialmente Balanceados (BIPB) en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, en condiciones de La Molina- Lima en la campaña 2012-2013. Para los caracteres agronómicos evaluados, tales como: rendimiento, días al 50% de la floración, días a la madurez; así mismo para los caracteres de calidad, tales como: contenido de proteína de grano, se encontraron líneas mutantes de quinua muy diferentes al testigo. De igual manera, para los caracteres de eficiencia del fertilizante nitrogenado. Se identificaron líneas mutantes de quinua variedad LM89 con ocho de los trece caracteres agronómicos, calidad y eficiencia del uso de fertilizantes y son: MQLM89-134, MQLM89- 153, MQLM89-92, MQLM89-14, MQLM89-152, MQLM89-82, MQLM89-52 y MQLM89-150, consideradas como líneas promisorias para estudios posteriores. Por su eficiencia en el uso de nitrógeno destacan: MQLM89- 14, MQLM89-59, MQLM89-75, MQLM89-86, MQLM89-82, MQLM89-109, MQLM89-113, MQLM89-131, MQLM89-134, MQLM89-137, MQLM89-149 y MQLM89-152.

Palabras clave: Quinua, línea mutante, variables cuantitativas, carácter agronómico, carácter de calidad, caracteres de eficiencia del fertilizante nitrogenado.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano nativo originario de América del Sur, de las áreas andinas de Perú y Bolivia. Sin duda, ha empezado a jugar un rol importante en la seguridad alimentaria de los países, por su valor nutritivo y su potencial de adaptación a zonas marginales.

El cambio climático y el crecimiento de la población y el uso de áreas marginales para producir mayor cantidad de alimentos hacen imprescindible seleccionar plantas capaces de emplear mejor los recursos del suelo para lograr altos rendimientos y de calidad en condiciones sub óptimas. Se ha estimado que la necesidad de alimentos se duplicará en los próximos 30 años (Glenn *et al.*, 2008 citado por Fixen, 2010).

En numerosos estudios, se ha demostrado que la fertilización nitrogenada mejora el rendimiento de grano en muchos entornos, sin embargo la eficiencia de uso de los fertilizantes también debe ser considerado, dado los altos costos y el impacto ambiental bajo su aplicación. Asimismo, la dinámica de la naturaleza del nitrógeno y su propensión a la pérdida de los sistemas suelo-planta crea un ambiente único y desafiante por su gestión eficiente (Fageria y Baligar 2005).

A nivel mundial, la eficiencia de uso del nitrógeno para la producción de cereales como el arroz, trigo, sorgo, mijo, cebada, maíz, avena y centeno se estima en 33 %.(Raun y Johnson , 1999).

Por tanto, todavía hay un margen significativo para mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno, mediante la selección de los nuevos híbridos o cultivares de las colecciones de germoplasma disponibles antiguos y modernos.

Un indicador importante respecto al uso del nitrógeno es su eficiencia agronómica, la cual indica un incremento en el rendimiento de grano por unidad de nitrógeno aplicado. Se ha investigado la eficiencia agronómica en cultivos como girasol (Harmsen, 1984; Escalante, 1992, 1995; Olalde *et al.*, 2000), maíz y sorgo (Muchow, 1998), trigo (McDonald, 1989; Limon-Ortega *et al.*, 2000 citado por Díaz, 2004); observándose en general una tendencia a aumentar con la dosis de N.

La quinua es una especie que ha sido domesticada y cultivada en condiciones adversas de clima y suelo por miles de años y las especies que evolucionan en ambientes pobres en determinados recursos tienden a desarrollar mecanismos para maximizar su utilización; en términos de evolución, estos genes son los que tienden a prevalecer y a perdurar en el tiempo.

Es por ello, que el trabajo de mejoramiento genético orientado a identificar genotipos capaces de utilizar con mayor eficiencia el nitrógeno es de gran utilidad. Considerando

lo anteriormente señalado se estableció el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

- 1.- Evaluar las características agronómicas y de calidad de las líneas mutantes de quinua variedad La Molina 89.
- 2.- Estudiar la eficiencia en la absorción y uso del nitrógeno disponible y aplicado en el suelo.
- 3.- Identificar líneas mutantes de quinua de la variedad La Molina 89 con mayor eficiencia en el uso de nitrógeno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 NITRÓGENO EN LA PLANTA

Se considera que este elemento, aproximadamente, constituye el 2% en peso seco de las plantas. En la planta, el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo forma orgánica y en una pequeña proporción bajo formas inorgánicas, compuestos amónicos, nitritos y nitratos. El tallo de la planta parece ser el lugar preferente de almacenamiento, antes del cuajado de los granos de ahí que los valores máximos suelen observarse en el período que precede a la floración-fecundación (Navarro, 2003).

Los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes. En estos, el porcentaje suele oscilar entre 5.5 y 6.5% en peso seco. A medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta, el porcentaje de nitrógeno disminuye y se eleva la relación C/N. Las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno, pero su valor disminuye durante la floración (Navarro, 2003).

2.2 NITRÓGENO EN EL SUELO

El nitrógeno es un elemento móvil entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos. Cuando se agrega al suelo como fertilizante no se acumula, como otros elementos, es por ello que tiene una mayor contribución en el incremento de los rendimientos. (Davelouis, 1991).

En el suelo se pueden distinguir dos grandes grupos de compuestos nitrogenados: N-inorgánico y N-orgánico. El N-inorgánico es solo una pequeña parte del N total del suelo. Las formas más importantes del nitrógeno están en estado gaseoso y en forma iónica, en la solución del suelo y pueden difundirse libremente, ellas son: amonio (NH_4), nitrato (NO_3^-) y NO_2^- . Los niveles de nitrato en la solución del suelo varían, pudiendo encontrarse valores entre 20 y 60 ppm de N- NO_3 , mientras que las cifras para el NH_4 son usualmente mucho menores, excepto en suelos inundados después de la aplicación de úrea. La mayor parte de N- NH_4 ocurre en formas cambiante y no cambiante, y muy poco de él está en la solución del suelo. Comúnmente la suma de NH_4 cambiante más NH_4 soluble, NO_3 y NO_2 es menor del 2% del N total del suelo. No obstante, son las formas indispensables para las plantas (Quevedo y Villagarcía, 1986). El principal componente del nitrógeno en el suelo está en la fracción orgánica; la materia orgánica del suelo posee en promedio 5% en peso de N, siendo el contenido de N de la capa arable de los suelos cultivados normalmente de 0.02 a 0.04 % (Tomassini, 1993). En esta forma, el nitrógeno no es aprovechable por la planta. Sin embargo, este nitrógeno puede ser transformado y liberado bajo la forma de compuestos más sencillos.

La aplicación excesiva de N aumenta el residual $\text{NO}_3\text{-N}$ en el suelo (Raun y Johnson, 1995; Porter *et al*, 1996; citado por Riar y Coventry, 2013) y produce condiciones

favorables para el lavado de N por debajo de la zona radicular. Dinnes *et al.* (2002) citado por Riar y Coventry, (2013) escribe sobre la importancia de la velocidad y el tiempo de aplicación de N para evitar estas pérdidas.

2.3 DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN EL SUELO, ABSORCIÓN Y TRANSLOCACIÓN EN LAS PLANTAS

La dinámica del nitrógeno en el suelo está, pues, altamente influenciada por tres grandes procesos: ganancias de nitrógeno por el suelo (fijación del N atmosférico por microorganismos que viven libremente en el suelo y otras bacterias simbióticas, aportes por el agua de lluvia y nieve, aportaciones de N en fertilizantes, estiércol y plantas verdes), transformaciones del N en el suelo (amonificación o degradación bioquímica de las proteínas, nitrificación, síntesis proteicas de los microorganismos del suelo) y pérdidas de N en el suelo (desnitrificación, volatilización del amoníaco, lixiviación de los nitratos, asimilación de los nitratos por las plantas superiores y fijación del amonio por arcillas y materia orgánica). (Navarro, 2003).

La forma de asimilación del nitrógeno (nitrato o amoniacal) depende en gran manera de la edad de la planta y de la especie; y también del pH del suelo, de su composición, e incluso de la pluviometría anual. La remolacha manifiesta una marcada preferencia por el nitrógeno nítrico, explicable porque los suelos más apropiados para este cultivo tienen un pH=7-7.5, que corresponden al valor óptimo de nitrificación. El maíz y la cebada se desarrollan de forma satisfactoria en suelos privados de sus nitratos, utilizando solo la forma nitrógeno amoniacal. Sin embargo en la mayoría de los suelos cultivados, las plantas superiores absorben el nitrógeno del suelo fundamentalmente en forma de nitrato (Navarro, 2003).

Dinchev (1976), Sutcliffe (1969) citados por Gamarra (1984), explican la absorción del nitrógeno, señalando que el nitrógeno nítrico que entra a las plantas; antes de ser utilizados en procesos de síntesis, relacionado con la absorción de proteínas; debe ser transformado a nitrógeno amoniacal. Marschner (2008), menciona que la absorción de nutrientes a partir del subsuelo, a pesar de una baja densidad de raíces, puede ser considerable. Para los cultivos de cereales tales como trigo de invierno en promedio, 30% de la absorción total de N por el cultivo se puede derivar del subsuelo (Kuhlmann *et al.*, 1989 citado por Marschner (2008). De igual forma, una mejora en la capacidad de absorción de N es a través de una modificación en la arquitectura de las raíces, sugerido por Lea y Azevedo (2006) citado por Ciampitti y Vyn (2012).

Las plantas absorben nitrógeno siempre que se encuentren en período de crecimiento activo, pero no siempre lo hacen a la misma velocidad. La velocidad máxima de absorción, en términos absolutos, suele tener lugar en los primeros estadios (Thompson y Troeh, 2002).

Gamarra (1984) en un estudio con cultivares de maíz, señala que la absorción de nitrógeno fue creciente desde los 78 días de la siembra hasta la cosecha, con igual ritmo creciente en los granos, desde su formación hasta la cosecha.

Marchetti y Castelli (2011) encontraron que el cultivo de remolacha azucarera removió en promedio 256 kg N/Ha y el trigo de invierno 116 kg N/Ha.

En el cultivo de quinua, según Fonseca (1985), la variedad de quinua Blanca de Junín mostró la máxima absorción de N durante el inicio del crecimiento vegetativo y la etapa de formación del grano. Morales (2012) en estudio realizado en Pucuchuilca, Ayacucho para quinua determina que, para el caso del nitrógeno, el movimiento de las hojas hacia la panoja es más intenso a partir de los 100 días, y de los tallos a partir de los 112 días; estabilizándose este movimiento a partir de los 135 días. Por ello es que se busca que la fertilización satisfaga estos requerimientos a lo largo del cultivo.

En quinua, Tapia y Castro (1968), citado por Fonseca (1985); muestran los resultados del análisis de follaje de la quinua, donde se incluyen la broza o *quiri* (tallos, hojas secas, tallos secundarios, pedúnculos) y el residuo de la trilla del grano “jipi” o “pusha” realizado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Lima, Perú (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 01: Análisis de follaje de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Instituto de Investigación Agropecuaria, Lima- Perú.

Nutrimento	Broza	Jipi
M.S %	92.37	90.9
Proteína %	7.53	10.7
Grasa %	1.59	-
Fibra %	42.90	-
Cenizas %	11.41	9.9
Extracto no nitrog.	36.57	-

2.4 FERTILIZACIÓN PARA OPTIMIZAR RENDIMIENTOS

En el momento actual está suficientemente demostrado que el nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro puede provocar notables descensos en la producción vegetal (Navarro, 2003).

En general en la zona andina, cuando se siembra quinua después de la papa, el contenido de materia orgánica y de nutrientes remanentes es favorable para el cultivo de la quinua, debido a la descomposición lenta del estiércol y a las preferencias nutricionales de la papa. Se señala que los remanentes casi completan los requerimientos de la quinua requiriéndose de un abonamiento complementario. Por otro lado la siembra de quinua después de una gramínea (maíz o trigo en la costa),

cebada o avena en la sierra, requiere de la aplicación de 3t/ha de materia orgánica o una fertilización equivalente en promedio a la fórmula: 80-40-00 (Mujica, Canahua y Saravia, 2001).

En diferentes ensayos de fertilización de quinua, con humedad apropiada, se ha calculado que por cada kilogramo de nitrógeno por hectárea, hasta un nivel de 120 kg/ha, la producción de quinua se eleva en 16 kg/ha (Medina, 1966; Herquinio, 1971; Rivero, 1985 citado por Tapia, 2000).

Coincidiendo con ello, Barnett (2005) concluye que la variedad La Molina 89, responde a las dosis crecientes de nitrógeno, permitiendo incrementar de manera gradual el rendimiento promedio de granos por panoja, el porcentaje de proteínas en los granos, el diámetro de la panoja y la materia seca. Además menciona que dosis mayores de 120 kg/ha, el incremento de rendimiento por cada unidad adicional de N aplicado son decrecientes, demostrando que los valores de la materia seca decrecen al aplicar una mayor dosis.

2.5 IMPORTANCIA DEL USO EFICIENTE DEL NITROGENO

El nitrógeno es frecuentemente uno de los nutrientes más limitantes en la producción de cultivos. La eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) aplicado sigue siendo baja. Esto es debido a varios factores, como la escorrentía, lixiviación y volatilización del nitrógeno (Raun y Johnson, 1999). Boaretto (2007) afirma que existe un desfase entre la liberación del N aplicado y la absorción del elemento por el cultivo. Normalmente, con el transcurso del tiempo, la disponibilidad del N aplicado al suelo disminuye y la necesidad del cultivo se incrementa.

En países desarrollados la agricultura se centró en la maximización de los rendimientos por unidad de superficie, mediante la aplicación de nutrientes entre otros factores, hasta que se determinó las consecuencias ambientales negativas de la aplicación excesiva de nutrientes (Schlegel *et al.*, 1996 citado por Raun y Johnson, 1999). Por lo que surge la necesidad de mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno por las plantas y disminuir el riesgo de contaminación con NO₃-N de las aguas superficiales continentales y los suministros de agua subterránea (Stone *et al.*, 1996 citado por Raun y Johnson, 1999), así como la hipoxia en las zonas oceánicas específicas causada por el exceso de fertilizantes nitrogenados (Malakoff, 1998 citado por Raun y Johnson, 1999).

La selección genética se realiza a menudo con niveles altos del fertilizante nitrogenado, con el fin de eliminar al nitrógeno como una variable limitante; sin embargo, esto puede enmascarar diferencias de eficiencia entre los genotipos en la acumulación y utilización de N para producir grano (Kamprath *et al.*, 1982 citado por Raun y Johnson, 1999). Por tanto, es importante seleccionar y evaluar la eficiencia de uso de nitrógeno bajo condiciones de alta y baja concentración de nutrientes; lo que permite al investigador identificar a los genotipos con mejor desempeño bajo estrés nutricional (bajo aporte,

eficientes) y a los genotipos que responden bien en condiciones de grandes aportes de insumos (reactivos) (Ortiz-Monasterio *et al*, 2013).

2.6 USO EFICIENTE DE NITROGENO Y SUS COMPONENTES

La eficiencia con la que los cultivos utilizan el fertilizante aplicado es de suma importancia económica, dado que está relacionada directamente con el beneficio de la fertilización. La eficiencia puede ser expresada como las unidades de producto generado por unidad de nutriente aplicado, o como la proporción del nutriente adicionado que absorbe el cultivo.

La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) es un parámetro universal que se utiliza para describir cómo de manera eficiente la planta utiliza el nitrógeno disponible. Fageria y Baligar (2005); Boaretto (2007) describen la EUN como el máximo rendimiento económico por unidad de nitrógeno aplicado. La primera es acorde con Dobermann (2005) indicando que la EUN se expresa como kg del producto de la cosecha por kg de N aplicado, también llamado productividad de los factores parciales (PFPN) de N aplicado. Por otra parte, la definición propuesta por Moll *et al.*, (1982) define la eficiencia de uso de nitrógeno como el rendimiento de grano por unidad de nutriente suministrado (desde el suelo y/o mediante fertilizantes).

Varios índices se utilizan comúnmente en la investigación agronómica para evaluar la eficiencia del nitrógeno aplicado, principalmente con fines que enfatizan la respuesta del cultivo a N (Novoa y Loomis, 1981; Cassman *et al*, 2002 citado por Dobermann, 2005). En general trata de calificar la habilidad de un sistema para transformar un insumo en un producto (Fageria y Baligar; 2005). Asimismo, este difiere mucho de acuerdo al método empleado para la evaluación (Finck, 1985; Novoa y Loomis, 1988 citado por Tomassini, 1993), por el efecto de factores ajenos, como son por ejemplo las condiciones experimentales y la naturaleza hiperbólica de la respuesta del rendimiento al N (Sánchez, 1981; Finck, 1985; Laechilli, 1987; Novoa y Loomis, 1988 citado por Tomassini, 1993).

La eficiencia de uso de N se puede expresar de diferentes maneras: eficiencia interna de utilización de N, eficiencia fisiológica de uso de N, eficiencia agronómica de uso de N y eficiencia aparente de recuperación de N. Estimaciones de la eficiencia de uso del N (EUN) en cereales es de 40-70 kg de grano/kg de N aplicado y mayor a 70 kg kg⁻¹ bajo una gestión óptima de manejo (Dobermann, 2005). Valores actuales de EUN muestran que la recuperación de N para la mayoría de los cultivos es menor que 50 % (Fageria y Baligar, 2005). Para los cereales como el arroz, trigo, sorgo, mijo, cebada, maíz, avena y centeno, la recuperación de N informado, es alrededor del 33 % (Raun y Johnson, 1999).

La definición y componentes de EUN en cultivos anuales de grano dan énfasis en el rendimiento de grano y proteína. Aunque la terminología es diferente, hay similitudes

claras entre la definición de EUN en los sistemas agrícolas y en los ecosistemas naturales. En los ecosistemas naturales se hace hincapié en la biomasa total, mientras que en los sistemas agrícolas en la biomasa cosechada (granos o rendimiento de forraje). En cultivos anuales, los cálculos de la eficiencia de uso de nitrógeno se basan en gran medida en base a la cosecha, ya que esto es el fin del ciclo de vida de la planta. Sin embargo, calcular EUN en un solo punto en el tiempo en lugar de realizarlo en diferentes etapas de crecimiento puede no dar una imagen completa de la dinámica de nitrógeno durante el período de crecimiento (Dawson *et al.* 2008).

El concepto de eficiencia del N puede variar de acuerdo a la perspectiva de producción, pero no debe priorizarse la alta eficiencia en detrimento de la productividad. La ley de los rendimientos decrecientes indica que al incrementar las dosis de N los incrementos en producción se van reduciendo, y la eficiencia se va haciendo menor (Boaretto, 2007).

Los valores de EUN varían mucho con los diferentes sistemas de cultivo. Muchos estudios han evaluado ampliamente los cultivos, y los diferentes resultados en rendimiento, calidad, eficiencia de uso de nitrógeno pueden deberse a los diferentes métodos de investigación, a las prácticas de gestión, clima, material genético y a las definiciones de EUN (Huggins y Pan, 2003; Van Sanford y MacKown, 1987 citado por Dawson *et al.* 2008). Biswas y Benbi (1997) citado por Liu *et al.* (2010) documentaron que la EUN varió de 25 % a 90 % para el maíz y el trigo en diferentes condiciones de cultivo, la mayor parte de las cuales se basaban en experimentos a corto plazo. Por otra parte, el estudio de la fertilización a largo plazo también es muy importante. Estudios sobre el balance de nitrógeno y la recuperación de N después de 22 años en cultivos de maíz - trigo -frijol, dió lugar a la recuperación de N en 17,1 % en maíz y 31,7 % en trigo, mientras que la aplicación combinada de N, P, K casi duplicó estos valores.

Se llega a señalar la existencia de eficiencias reales y aparentes (Broadvent, 1981; Finck, 1985 citados por Tomassini, 1993), así como la necesidad de observar el tiempo para el cual fue calculado, el método y la técnica empleada (Broadvent, 1981 citado por Tomassini, 1993). De cualquier forma, las características que en mayor medida determinarán la eficiencia de la fertilización nitrogenada serán las del suelo (propiedades físico-químico-biológicas), de los fertilizantes (tipo, nivel, forma de aplicación), de cultivo (carga genéticas y manejo) y del clima (Fried, 1966 y 1975; Trelles, 1977; Zapata, 1981; Finck, 1985 citados por Tomassini, 1993).

Las reducciones de la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) con el aumento de la provisión de N podría ser el resultado de las reducciones en cualquiera de los componentes, incluyendo la eficiencia de absorción de N y eficiencia de utilización de N. Los estudios sobre el trigo y pastos perennes han demostrado reducciones en todos estos componentes (Cox *et al.*, 1986; Dhugga y Waines, 1989; Huggins y Pan, 2003; Jiang *et al.*, 2000; Morris y Paulsen, 1985; Ortiz -Monasterio *et al.*, 1997; citado por Dawson *et al.*, 2008). Por las mismas condiciones de suelo y de cultivo, Dobermann (2005) afirma que el EUN generalmente disminuye con el aumento de la dosis de N.

Por ejemplo, Ortiz-Monasterio *et al.* (1997) citado por Dawson *et al.*, (2008), encontraron en todas las variedades evaluadas, reducción en la eficiencia de absorción y translocación/utilización a mayor oferta de N, traduciéndose en un menor valor de EUN. Asimismo, Huggins y Pan (2003) citado por Dawson *et al.*, (2008), encontraron que la disminución de la eficiencia en el suministro de N fue mayor más por pérdidas en el sistema que por disminución en la absorción del nitrógeno por la planta.

Todos los nutrientes son igualmente importantes para el mejor uso de los demás, por lo que hay gran necesidad de tener en cuenta el concepto de equilibrio de nutrientes cuando se considera eficiencia de nutrientes y la sostenibilidad de los sistemas de producción de cultivos (Boaretto, 2007). Roy *et al.*, (2006) indica que el desequilibrio de uso de nutrientes puede causar antagonismo y pueden conducir a la pérdida de cualquier ventaja sinérgica, por tanto resulta en una menor eficiencia de uso del nitrógeno. Esto es consistente con Fixen *et al.*,(2005) citado por Roberts (2008) señalando que la aplicación adecuada y equilibrada de fertilizantes es una de las prácticas más comunes para la mejora de la eficiencia del nitrógeno y es igualmente eficaz en los países tanto desarrollados como en desarrollo. En una análisis reciente durante el primer año en China, India y América del Norte, la fertilización equilibrada con N, P y K aumentaron la recuperación del nitrógeno en un promedio de 54% en comparación del 21% donde el N se aplicó solo.

Dobermann (2007) citado por Stewart (2007), señala los siguientes rangos de índices agronómicos de eficiencia de uso de N en cereales:

- Eficiencia agronómica de 10–30 kg kg⁻¹ y mayor a 25 kg kg⁻¹ en sistemas bien manejados.
- Eficiencia aparente de recuperación de 0.3–0.5 kg kg⁻¹ ó 0.5–0.8 kg kg⁻¹ a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo; en sistemas bien manejados.
- Eficiencia fisiológica de 40–60 kg kg⁻¹ y mayor a 50 kg kg⁻¹ en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
- Eficiencia interna de utilización de 30 a 90 kg kg⁻¹; el rango óptimo es de 55 a 65 con nutrición balanceada a niveles altos de rendimiento.
- Factor parcial de productividad de 40 a 80 kg/ kg⁻¹ y mayor a 60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.

La eficiencia agronómica del N aplicado, considerada como el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado (Díaz *et al.*, 2004), resulta de dividir el rendimiento en kilogramos, entre los kilogramos de nitrógeno (N) aplicado (Tomassini, 1993). Es un valor que depende de la eficiencia fisiológica del híbrido o cultivar, de la proporción del N disponible que es absorbido por el cultivo y de las pérdidas que ocurran durante el ciclo. Por lo tanto, la eficiencia agronómica varía a medida que la absorción de N se ve limitada por otro factor como la

disponibilidad de agua o se incrementan las pérdidas de nitrógeno del sistema (Quintero y Boschetti, 2009 citado por Saravia, 2011).

Anderson (1985) citado por Riar y Coventry (2013), sostiene que la eficiencia agronómica de N puede duplicarse (es decir, 20-30 kg / kg a 50 kg / kg). Es el caso del genotipo mejorado de trigo en Australia, más eficiente en la absorción de N y la utilización. Por el contrario, los estudios de América del Norte, Reino Unido, y en otros lugares en Australia indican valores de eficiencia agronómica y aparente de recuperación de N más altos con genotipos existentes (Craswell y Godwin, 1984; Angus y Fischer, 1991; Sylvester-Bradley *et al.*, 2001 citado por Riar y Coventry (2013). Estos estudios ponen de manifiesto que, al margen de genotipos apropiados, hay factores agronómicos y ambientales que están limitando la eficiencia de uso de nitrógeno de los sistemas agrícolas existentes.

La eficiencia aparente de recuperación, kg de aumento de la absorción de N por kg de N aplicado (Dobermann, 2007 citado por Stewart, 2007) se ve afectada por el método de aplicación del N (cantidad, momento, la colocación, la forma de nitrógeno), así como por factores que determinan al cultivo en estudio (genotipo, clima, densidad de plantas, estrés bióticos/abióticos).

Por otra parte, estudios en parcelas experimentales, en cultivos de cereales informaron que la recuperación del fertilizante nitrogenado en un solo año obtuvo valores promedio de 65 % para el maíz, 57% para el trigo y 46 % para el arroz (Ladha *et al.*, 2005 citado por Roberts, 2008). Sin embargo, las parcelas experimentales no reflejan con exactitud los valores obtenidos en las fincas. Las diferencias en la escala de operaciones agrícolas y prácticas de gestión (es decir, labranza, siembra, control de malezas y plagas, riego, cosecha) suele dar lugar a una menor eficiencia de uso de nutrientes. La recuperación de nitrógeno en los cultivos producidos por los agricultores rara vez supera el 50% y es a menudo mucho más bajo. Una revisión de la información disponible sugiere que la recuperación promedio de N en los campos gestionados por los agricultores va desde 20% a 30 % en condiciones de secano y de 30 % a 40 % en condiciones de regadío.

La baja recuperación de N podría estar relacionado con la alta aplicación temprana de nitrógeno, cuando la capacidad de la planta para tomar N es pequeña, (Zhu y Chen, 2002).

La recuperación por el cultivo del N aplicado, sea proveniente de residuos o fertilizantes, es el producto de mineralización neta y eficiencia con la cual el N inorgánico es asimilado por las plantas. En general, estudios utilizando fertilizantes marcados (^{15}N) han encontrado que entre 20 a 87% del N aplicado es recuperado en el primer cultivo, 10 a 35% es retenido en el suelo, y 1 a 35% es asignado a pérdidas (Powlson *et al.*, 1986; Pino *et al.*, 1996; Vidal *et al.*, 2000; Kumar y Goh, 2000; Urquiaga, 2000 citado por Zagal, 2003). Otro estudio de balance de N en el cultivo de trigo con uso de la técnica isotópica (fertilizante marcado) demostraron que de los 90 kg

de N aplicados como úrea, 57 kg se acumularon en el grano (65%), 15 kg quedaron en el suelo, 15 kg permanecieron en la paja del trigo, 1 kg en las raíces y 1 kg se lixivió debajo de los 50 cm del perfil. En general, los valores obtenidos con ^{15}N (nitrógeno marcado) son a menudo ligeramente menores a los estimados con el método de diferencia (Dobermann, 2005). Índices de eficiencia agronómicos sólo proporcionan una evaluación precisa de EUN para los sistemas que se encuentran en un estado de equilibrio relativamente con respecto al contenido de N orgánico del suelo y donde las diferencias entre los cultivos fertilizados y no fertilizados son relativamente pequeños.

El rango de variación en el N recuperado en el cultivo utilizando fertilizantes marcados se explica por las diferentes fuentes de N aplicadas, diferentes niveles de fertilización usados, clima, prácticas de manejo, y cultivo utilizado (Zagal, 2003; Boaretto, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL GENÉTICO

a) **Testigo/ material parental:** Variedad La Molina 89, tiene una altura de 130 cm en promedio, caracterizada como precoz (130 días hasta la maduración total), no presenta ramificación, tiene una sola panoja por planta del tipo amarantiforme, compacta, de aproximadamente 36 cm de longitud y 7-9 cm de diámetro. El grano es de color crema.

Timaná (1992) señala que la variedad LM89 ha sido seleccionada de un material colectado en el altiplano por su precocidad, buen rendimiento y tipo de planta. Se sabe además que presenta tolerancia al mildiú (Apaza, 1995 y Tapia, 2003).

En la presente investigación, el material testigo elegido fue la línea mutante de menor rendimiento del experimento.

b) 63 líneas mutantes M_4 seleccionadas en la generación M2-M3 por diversas características morfológicas, fisiológicas diferentes al material parental. Las líneas mutantes fueron obtenidas empleando irradiación con rayos Gamma en la variedad La Molina 89.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

a) **Materiales de campo:** insumos (fertilizante, pesticidas)

Fertilizantes: N: Úrea, P: Fosfato Di-amónico

Pesticidas: Cipermax, Fitoklin, Botryzim

Otros: Solt pH.

b) **Herramientas de campo:** pala, rastrillo, hoz, mochila de aplicación.

c) **Equipos de campo:** tractor e implementos.

d) **Otros:**

- Sacos
- Rafia
- Balanza de campo
- Balanza analítica
- Balanza tipo Shopper, compuesta por: una pesa, dos porciones de tubo y una cuchilla
- Desbrozadora
- Tamiz

- Bolsas de papel kraft
- Cuaderno de apuntes y lápiz
- Equipo “INFRATEC 1241 Grain Analyzer”
- Equipo agitador mecánico
- Afrosímetro mecánico
- Tubos de ensayo
- Porta tubos
- Gradillas de plástico
- Agua destilada
- Equipo de clasificación de granos mediante zarandas
- Cronómetro
- Calculadora
- Contómetro
- Bandejas plásticas
- Regla graduada
- Reactivos
- Cámara digital

e) Equipos y reactivos de laboratorio

Estufa con control de temperatura, balanza eléctrica, balanza analítica, cocinilla eléctrica, equipo de destilación de microkjeldahl.

Los reactivos utilizados fueron: agua destilada, ácido clorhídrico P.A., ácido sulfúrico P.A., ácido bórico, azul de metileno (indicador) y rojo de metilo (indicador), mezcla de catalizadores de microkjeldahl propuesta por Muller (1961) citado por Arteaga (2012).

3.3 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

3.3.1 CAMPO EXPERIMENTAL

El presente experimento se llevó a cabo en el campo Guayabo 2 de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en la calle Raúl Ferrero, distrito de La Molina, provincia de Lima y Departamento de Lima, con las siguientes coordenadas:

- Latitud: 12° 05 06" sur
- Longitud: 76° 57 07 " oeste
- Altitud: 235 msnm

3.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Las dimensiones y características fueron las siguientes:

- Número de parcelas por bloque: 64
- Número de repeticiones: 3
- Longitud de surcos: 4 m

- Ancho de parcela: 2.4 m
- Distanciamiento entre surcos: 0.80 m.
- Número de Surcos por parcela: 4

- Área neta por parcela: 9.6 m²
- Área Neta del Bloque: 614.4 m²
- Área Neta del Experimento: 1 843.2m²

3.4 ANÁLISIS DE SUELO

Los suelos de la Molina se encuentran situados fisiográficamente en una terraza media de origen aluvial. Para la caracterización fisicoquímica del suelo, se realizó el análisis correspondiente. Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ANEXO N° 01).

El suelo presenta una textura franco arenoso, lo cual lo caracteriza como un suelo con baja capacidad de retención de humedad, alta velocidad de infiltración y drenaje. El pH es ligeramente alcalino y con un bajo contenido de calcáreo total. La conductividad eléctrica es de 0.51 dS/m. El porcentaje de materia orgánica es de 1.10%. El nivel de fósforo, potasio disponible es medio. Los valores determinados para la CIC indican una baja fertilidad potencial del suelo. Finalmente según la distribución de los cationes, predominan el calcio y el magnesio, saturando en un 96.03 por ciento el complejo de cambio.

3.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA

El distrito de La Molina presenta condiciones típicas de la costa central, con clima templado cálido. La zona está clasificada como un desierto subtropical árido caluroso. Las condiciones climáticas durante el período experimental (septiembre 2012- enero 2013), fueron registradas en la estación meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 02: Valores promedio de los datos climatológicos: humedad relativa máxima y mínima, precipitación total (mm), viento (m/s) durante el período Julio 2012- Enero 2013. La Molina, Lima-Perú.

Mes/Datos	Temperatura ° C			Humedad %			Precipitación total mm	Viento (m/s)		
	promedio	máx.	min.	promedio	máx.	min.		Promedio	máx.	min.
Jul-12	17.78	23.70	14.50	79.77	88.71	70.83	1.10	3.27	4.60	1.87
Ago-12	15.62	22.40	13.30	82.92	89.67	76.17	3.40	2.49	3.23	1.74
Sep-12	15.73	32.10	11.10	82.28	86.92	77.63	14.90	2.79	3.56	2.02
Oct-12	16.98	25.10	12.70	84.21	92.75	75.67	1.40	2.47	3.41	1.53
Nov-12	18.13	25.10	14.00	77.28	86.88	67.67	1.70	3.23	3.89	2.57
Ddic-12	20.15	28.10	15.00	79.19	85.13	73.25	1.60	3.00	3.73	2.27
Ene-13	22.55	23.79	20.70	69.69	77.29	62.08	0.00	3.50	4.74	2.26

Fuente: Elaboración propia.

3.6 MANEJO DEL CULTIVO

Las labores culturales aplicadas en el experimento fueron iguales a las empleadas en un campo comercial de quinua.

a) Preparación del terreno experimental

La preparación del terreno se llevó a cabo a mediados de julio y agosto del 2012. El cultivo anterior fue trigo. Primero se pasó la grada de puntas y se hizo el surcado para luego efectuar el riego de machaco. Para cuando el suelo ya contaba con humedad a punto, se aró (para roturar el suelo) y luego se pasó la rastra de discos (para desterronar el suelo), grada cruzada para mullir el suelo, seguidamente se niveló el terreno. Posteriormente haciendo uso de una rastra de puntas se procedió a realizar el surcado del terreno, se bloqueó el terreno con yeso y finalmente, se distribuyó el material vegetal.

b) Siembra

La siembra se realizó en suelo seco, en forma manual. Las semillas fueron colocadas a chorro continuo en el costillar del surco. La densidad fue de 10 kg/ha para todas las líneas mutantes de quinua. El distanciamiento entre surco fue de 0.80 m. Al momento del tapado de las semillas se procuró que éstas quedaran a no más de 2 cm de profundidad.

c) Fertilización

El cultivo anterior fue trigo. La dosis de fertilización usada fue 80-70-00 de nitrógeno y fósforo. Las fuentes empleadas fueron úrea y fosfato diamónico, 60 y

20 unidades de nitrógeno respectivamente. La dosis 80 de nitrógeno fue seleccionada considerando experiencias anteriores donde en diversos estudios fue identificada como la de mejores efectos en los caracteres evaluados.

El abonamiento nitrogenado se fraccionó en dos partes tal como se observa en el Cuadro N°03. La primera parte, se incorporó junto al fosfato diamónico en el fondo de surco antes de la siembra, y la otra fracción se aplicó a los 35 días aproximadamente, después del segundo riego.

Cuadro N° 03: Dosis de fertilizantes empleados en el experimento.

Elemento	N	P	K
En la siembra	40	70	00
Al aporque	40	00	00

Fuente: Elaboración propia (2014)

d) Desahije

Se realizó cuando las plantas estaban en las fases de desarrollo vegetativo, con un tamaño aproximado de 30 cm. Se dejaron 30 plantas/m lineal.

e) Rouging

Se llevó a cabo durante el desahije, consistió en eliminar plantas débiles del mismo genotipo y plantas diferentes al genotipo sembrado.

f) Control de malezas

Sé realizó de forma manual, en forma simultánea con el desahije, aprovechando la humedad del suelo después del riego. Se realizaron dos deshierbos complementarios posteriormente.

g) Riegos

Se realizó un total de 10 riegos por gravedad, los cuales fueron cada quince días aproximadamente, de acuerdo a las necesidades del cultivo, al clima y disponibilidad de agua.

h) Aporque

El aporque se realizó en el momento del desahije y se utilizó esta labor para cubrir la úrea de la aplicación complementaria del N. Asimismo, permitió dar mayor fijación a las plantas y controlar las malezas ubicadas entre los surcos.

i) Control fitosanitario

El control de gusanos de tierra se realizó a través de riegos pesados. Para los comedores de hoja y granos se aplicó Cypermex (Alfacipermetrina) y Lannate (Metomilo). Para las enfermedades, se controló la presencia de chupadera, 7 y 14 días después de la emergencia con la aplicación de Botryzim (Carbendazim), asimismo la presencia de mildiú (*Peronospora variabilis* = *Peronospora farinosa*) con 3 aplicaciones de Fitoklim (Metalaxyl), luego de evaluar la severidad (en porcentaje de área foliar afectada).

j) Cosecha

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez fisiológica de cada genotipo. Se cortaron las plantas y se dejaron en el campo sobre mantas, para que sequen completamente. Una vez secas, se llevó a cabo la trilla.

Finalmente se procedió a limpiar los granos usando una venteadora para ser guardados dentro de bolsas de papel Kraff, debidamente etiquetados.

3.7 EVALUACIONES

3.7.1 CARACTERES AGRONÓMICOS

a) Rendimiento

Después de la trilla, limpieza y venteo, se realizó el pesado de los granos. De cada parcela. Se expresó en kg/ha.

b) Altura de planta

Se evaluó la altura de planta un día antes de iniciar la cosecha, con una regla graduada desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja. Se hicieron diez medidas por parcela y se promedió los datos obtenidos. Se expresó en centímetros.

c) Días a la floración

Expresado en número de días transcurridos desde la siembra o primer riego hasta que el 50 por ciento de las plantas de la parcela presenten flores abiertas en las inflorescencias. Se expresa en días.

d) Días a la maduración

Número de días transcurridos desde la fecha de siembra o primer riego, hasta que el 50 por ciento de plantas de cada parcela presentará el estado de grano pastoso rayable con la uña, lo que se reconoce por la dureza del grano a la presión de la uña.

e) Mildiú

El valor se expresó en porcentaje del área infectada respecto al área total de la hoja, para ello se eligió aquella hoja más afectada en promedio del tercio medio de la planta.

3.7.2 CARACTERES DE CALIDAD

Los caracteres de calidad fueron determinados en los laboratorios del Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

a) Peso de mil granos (g)

Este componente es una medición indirecta de la calidad de grano. A mejor llenado de granos, mayor peso de mil granos. Se determinó haciendo uso del contador de granos Seedburo 801 para el conteo de granos y el peso de los mil granos se realizó en una balanza analítica.

b) Contenido de proteína en el grano

Se expresó en porcentaje, utilizando el Infratec 1241 Grain Analyzer, instrumento utilizado para determinar el contenido de proteínas de grano de la quinua.

c) Contenido de saponina en el grano

Las saponinas forman una espuma estable, cuya altura esta correlacionada con el contenido de saponinas en los granos (FAO, 2000). Se determinó utilizando el Método Afrosimétrico Mecánico, propuesto por Koziol (1990), modificado por Bálamo (2002). Koziol (1991) estableció en 0.11% (b.h) el umbral de detección del amargor debido a la saponinas en quinua; por lo que accesiones de quinua con contenidos de saponina menores a una altura de espuma de 0.7 cm pueden llamarse dulces y las quinuas muy amargas sobrepasan los 2.5 cm de altura de espuma que equivale a 0.591 % (b.s.) de saponina.

3.7.3 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN GRANO, TALLO E INFLORESCENCIA

El material clasificado de las diferentes secciones de la planta (tallos e inflorescencias) y separado por repetición, se colocó en bolsas de papel Kraft y se introdujo en una estufa a 70° C por 24-48 horas hasta que alcanzó peso constante.

Después de pesar las muestras secas se procedió a molerlas en un molino con una malla de 1/mm de diámetro. Las muestras secas molidas se recolectaron en bolsas de papel kraft previamente identificadas y con ellas se procedieron a realizar el análisis químico correspondiente.

Para la determinación del contenido de nitrógeno se siguieron los procedimientos del método de Microkjeldahl propuesta por Muller (1961) citado por Arteaga (2012), esto es la transformación del nitrógeno orgánico hacia sulfato de amonio en la etapa de digestión, reaccionar 1 g de material de plantas molido con ácido sulfúrico y un catalizador para luego proceder al destilado, al interior de ácido bórico al 2 por ciento y titulación con ácido sulfúrico 0.1 N estándar, utilizando una combinación e indicador de verde de bromocresol y rojo de metilo (Chapman y Pratt, 2000 citado por Arteaga, 2012) para cuantificar el amonio que se expresa como nitrógeno total.

3.7.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO

Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN): NUE se calcula como Sw / Ns , donde Sw es el peso de la semilla y Ns es la provisión de N, expresada en las mismas unidades (por ejemplo, kg/ha) (Moll et al., 1982 citado por Razzaghi, 2012).

Fue calculado así:

$$EUN = RDTO \text{ (Kg/ha)} / NA$$

Dónde:

RDTO: Rendimiento de semilla en el tratamiento en Kg/Ha.

NA: Contenido de nitrógeno aplicado en Kg/ha.

Eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN): kg de producción por kg de N absorbido. (Tomassini, 1993).

Eficiencia fisiológica de nitrógeno (EFN): kg de aumento en la producción por kg de aumento en la absorción de N. (Tomassini, 1993).

$$EFN \text{ (kg kg-1)} = (RDTOF - RDTOT) / (NAF - NAT)$$

Dónde:

RDTOF: Rendimiento de semilla en el tratamiento en kg/ha.

RDTOT: Rendimiento de semilla en el testigo en kg/ha.

NAF: Contenido de nitrógeno en el tratamiento en kg/ha.

NAT: Contenido de nitrógeno en el testigo en kg/ha.

Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN): considerada como el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado, se estimó de acuerdo a la siguiente relación (McDonald, 1989; Escalante y Rodríguez, 1994 citado por Díaz *et al*, 2004):

$$EAN \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} = (RDTOF - RDTOT) / N$$

Dónde:

RDTOF: Rendimiento de semilla en el tratamiento en kg/ha.

RDTOT: Rendimiento de semilla en el testigo en kg/ha.

N: Dosis de nitrógeno en kg/ha

Eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN): kg de aumento de la absorción de N por kg de N aplicado.

Puede calcularse como la recuperación aparente del fertilizante en experimentos de campo con o sin el uso de radioisótopos ¹⁵ N. Sabiendo la extracción del nitrógeno agregado, el porcentaje de recuperación puede calcularse de la siguiente manera:

$$ERN: (N \text{ absorbido tratamiento} - N \text{ absorbido en testigo}) / \text{dosis de N} \times 100$$

La recuperación oscila entre 20 y 70%, los valores más altos corresponden a las posturas por su sistema radicular extensivo. Las recuperaciones más bajas se encuentran en áreas con humedecimiento y secamiento externos. (Sánchez, 1981 citado por Fonseca, 1985; adaptado por Gómez, 2014).

3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento constó de 63 tratamientos y un testigo de comparación de líneas mutantes de quinua variedad La Molina 89, el diseño experimental empleado fue Bloques Incompletos Parcialmente Balanceados (BIPB); con tres repeticiones. El modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijm} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \rho_{m(j)} + \epsilon_{ijm}$$

$$i=1,2, \dots, t \quad j=1, \dots, r \quad m=1,2, \dots, s$$

Donde μ es la media general, τ , es el efecto del tratamiento, γ , es el efecto del grupo de repeticiones, $\rho_{m(j)}$, es el efecto del bloque anidado dentro de la repetición y ϵ_{ijm} es el error experimental aleatorio.

El análisis ANVA para el análisis de las variables de estudio se realizó según el cuadro mostrado a continuación:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados
Total	N-1	$\Sigma(i_{jm} - \bar{y})^2$
Repeticiones	r-1	$sk\Sigma(\bar{y}_j - \bar{y})^2$
bloques dentro de la repetición	r(s-1)	$k\Sigma(\bar{y}_{ijm} - \bar{y})^2$
Tratamientos	t-1	$k\Sigma Q_i^2 / \lambda t$
Error	N-t-rs+1	restando

$Q_i = y_{ij} - (B_i/k)$, y B_i es la suma de totales de bloques que incluyen el i-ésimo tratamiento.

Para facilitar los cálculos, los análisis de variancia (ANVA) y las pruebas de significación respectivas se empleó el paquete estadístico R (F. De Mendiburu, 1997).

Todos los datos se evaluaron en plantas procedentes de los dos surcos centrales de las parcelas.

3.9 SELECCIÓN DE GENOTIPOS SUPERIORES CONSIDERANDO VARIOS CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE CALIDAD

3.9.1 DISTANCIA EUCLIDIANA

Una medida de distancia utilizada para el agrupamiento es la llamada "distancia euclidiana" (Prieto, 2006).

La distancia euclidiana, se calcula utilizando la fórmula de Pitágoras, para puntos situados en un espacio p-dimensional llamado un espacio métrico o euclidiano y es presentada de manera general como:

$$D_{jk} = \left(\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_{jk})^2 \right)^{1/2}$$

Dónde:

D_{ij} = Distancia Euclidiana entre los individuos "j" y "k".

X_{ij} = Valor del i-ésimo carácter en el individuo "j".

X_{kj} = Valor del j-ésimo carácter en el individuo "k".

N= Número de caracteres.

Al utilizar la distancia como medida de proximidad, se debe recordar que las distancias más pequeñas indican mayor similitud y las de mayor valor, menor similitud (Hair *et al*, 2001).

En este experimento, se realizó el cálculo de la distancia euclidiana bajo dos enfoques: la primera es la selección simultánea sobre los trece caracteres evaluados, donde el rendimiento y las proteínas tuvieron 3 veces la importancia de los otros caracteres; y los caracteres asociados con la eficiencia de nitrógeno tuvieron 2 veces la importancia de los otros caracteres. La segunda, recoge solamente la selección simultánea de los cinco caracteres asociados con el nitrógeno.

3.9.2 IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS SUPERIORES A TRAVÉS DEL CRITERIO DEL EXPERTO

Una vez identificadas las líneas mutantes de quinua superiores a través de la Distancia Euclidiana, se procedió a contabilizarlas, haciendo una selección meticulosa de las líneas más valiosas para el mejorador. En el Cuadro N° 04 se presentan los valores máximos y mínimos buscados en los caracteres de una variedad ideal de quinua según los objetivos considerados en el programa de mejoramiento de quinua del PIPS de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

Cuadro N° 04: Valores de caracteres agronómicos, de calidad de quinua y eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado (*Chenopodium quinoa* Willd.) objetivos del plan de mejoramiento para condiciones del Perú (PIPS Cereales y Granos Nativos).

Criterio del mejorador	Rdto (Kg/ha)	Días al 50% floración	Días a la madurez	Altura de planta (cm)	% Mildiu	Peso 1000 granos (g)	%Proteína	%Saponina	EUN (%)	EFN (kg/kg)	EAN (kg/kg)	EIN (kg/kg)	ERN (%)
Valores	mayor	menor	menor	menor	menor	mayor	mayor	menor	mayor	mayor	mayor	mayor	mayor
	3000	70.00	120.00	120.00	15.00	3.00	13.00	0.84	37.68	43.55	20.26	48.17	44.20

.....

IV.RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan considerando los objetivos planteados en la presente investigación.

OBJETIVO 1: EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y DE CALIDAD DE LAS LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA LA MOLINA 89.

4.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

Para cumplir con este objetivo se hizo evaluaciones de los siguientes caracteres agronómicos: rendimiento (kg/ha), número de días al 50% floración, número de días a la madurez, altura de planta (cm) y daño por mildiú (%).

Los datos de estas evaluaciones fueron analizadas según el diseño estadístico empleado y los resultados del ANVA, se presentan en el Cuadro N° 05. Para la fuente de variación repetición no hubo significación estadística en rendimiento (kg/ha) y número de días al 50 por ciento a la floración; significación estadística para altura de planta (cm) y significación altamente significativa para porcentaje de daño por mildiú, número de días a la madurez. Para la fuente de variación bloques/repeticiones no hubo significación estadística para rendimiento (kg/ha), número de días al 50 por ciento a la floración y altura de planta (cm); se encontró significación estadística para número de días a la madurez, % daño por mildiú. Para la fuente de variación tratamientos o genotipos se encontró significación altamente significativa para rendimiento (kg/ha), número de días al 50% floración, número de días a la madurez, altura de planta (cm) y porcentaje de daño por mildiú.

4.1.1 RENDIMIENTO

En el Cuadro N° 06 se presenta el valor medio del rendimiento (kg/ha) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 1490.4 a 4245.1 kg/ha. El rendimiento (kg/ha) de mayor valor se encontró en la línea mutante MQLM89-149 y el menor valor en la línea MQLM89-59; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 1392.5 kg/ha es diferente al 20% superior de genotipos evaluados. El rendimiento (kg/ha) promedio del experimento fue igual a 3014.2 y 36 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 5%.

Leonardo (1985) con la variedad Blanca de Junín obtuvo 3098 kg/ha de quinua con una densidad de 12 kg/ha de semilla y el nivel de abonamiento de 120-60-0. Fonseca (1985) con la misma variedad obtuvo un rendimiento de 1250 kg/ha con 80-80-0 de NKP.

Mercedes (2005) en la Molina, obtuvo el máximo rendimiento de quinua igual a 2030 kg/ha.

Schulte auf'm Erley *et al*, (2005) en un estudio con quinua en el Sur de Alemania, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada obtuvo un rendimiento de grano de 1790 y 3495 kg/ha.

Quillatupa (2009), en la Molina evaluó 16 genotipos de quinua encontrando rendimientos máximos de 4425 kg/ha (Cuzco 2) y mínimos de 1513.3 kg/ha (Cajamarca 3).

Delgado (2009) informa de rendimiento de grano seco en genotipos de quinua dulce, de 1.705 y 2.699 kg/ha, encontrando mayores promedios en el grupo Tunkahuan (S20, S39, S44).

Risco (2011), para la variedad Blanca de Junín sembrada en Vilcashuaman-Ayacucho, encontró que la interacción abonamiento x distanciamiento de surco tuvo efecto significativo en el rendimiento, el tratamiento guano de isla x 40 cm de distanciamiento mostró el mayor rendimiento con 4437.5 kg/ha.

Ticona (2013), en ensayo de quinua variedad Pasancalla en Potosí-Bolivia, bajo siembra directa obtuvo un valor de 1164.8 kg/ha de rendimiento. Huanca (2013) en líneas de quinua de grano rojo en la provincia Los Andes, La Paz obtiene el valor más alto para el genotipo L-M389 igual a 1477.0 kg/ha.

Experimentos previos con la variedad La Molina 89 en el distrito de La Molina, informan de rendimientos de 2978.9 kg/ha con una dosis de nitrógeno de 80 kg/ha de N (Timaná, 1992); 4093.9 kg/ha con una dosis de 160 kg/ha de N (Apaza, 1995); 1524 kg/ha y 1122.9 kg/ha en siembras de verano (Tapia, 2003; Echegaray, 2003). Por otro lado en siembras de inicios de primavera; Barnett (2005) informa un rendimiento de 7156.7 kg/ha y concluye que la variedad La Molina 89, responde a las dosis crecientes de nitrógeno hasta 120 kg/ha, permitiendo incrementar de manera gradual el rendimiento promedio de granos por panoja, el porcentaje de proteínas en los granos, el diámetro de la panoja y la materia seca; y que dosis mayores de nitrógeno, originan disminución decreciente de rendimiento por cada unidad adicional de N.

Como se puede apreciar los rendimientos del material experimental evaluado se encuentra dentro de aquellos informados por varios autores en diferentes años y localidades y a los obtenidos en condiciones similares a los de la presente investigación.

Cuadro N° 05: Cuadrados medios de rendimiento (kg/ha), número de días al 50% floración, número de días a la madurez, altura de planta (cm), % daño por mildiú, peso de mil granos (g), % saponina y % proteína de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b - 2013a.

FV	G.L.	Rendimiento (kg/ha)	N° días al 50% floración	N° días a la madurez	Altura de planta (cm)	% Daño por Mildiú	Peso de mil granos (g)	% Saponina	% Proteína
Repeticiones	2	10702	1.974	7.313 .	173.17 **	191.536 ***	0.013229	0.001274	0.05333
Bloques /Repetición	21	12916	2.807	5.059 *	35.91	17.628 .	0.022744 *	0.002373	0.03461
Tratamientos	63	1818419 ***	190.64 ***	215.691 ***	530.86 ***	24.603 ***	0.149482 ***	0.148369 ***	1.97978 ***
Error	105	22307	2.614	2.97	28.755	11.556	0.011668	44.348	0.04427
Total	191								
C.V. %		4.95	2.30	1.70	3.50	28.1	3.5	7.2	1.6
Promedio		3014.17	70.54	103.86	155.17	12.08	3.12	0.84	13.03

Cuadro N° 06. Medias del rendimiento de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012b - 2013a.

Material Genético	Rendimiento (kg/ha)	Prueba de	Parcela
		LSD	Tratamiento
MQLM89-149	4245.1	a	55
MQLM89-134	4236.2	a	47
MQLM89-14	4201.8	a	7
MQLM89-109	4186.5	a	34
MQLM89-152	4122.6	ab	57
MQLM89-82	4104.5	abc	27
MQLM89-131	3927.8	bcd	46
MQLM89-146	3909.1	bcd	54
MQLM89-92	3895.0	cd	32
MQLM89-153	3856.1	d	58
MQLM89-112	3799.8	de	37
MQLM89-150	3790.7	de	56
MQLM89-113	3764.1	def	38
MQLM89-41	3598.9	efg	14
MQLM89-52	3541.9	fgh	20
MQLM89-164	3513.8	ghi	62
MQLM89-163	3486.1	ghij	61
MQLM89-114	3476.5	ghijk	39
MQLM89-13	3470.6	ghijkl	6
MQLM89-94	3459.5	ghijkl	33
MQLM89-48	3435.5	ghijklm	17

	Rendimiento	Prueba de	Parcela
Material Genético	(kg/ha)	LSD	Tratamiento
MQLM89-89	3433.1	ghijklm	31
MQLM89-155	3391.1	ghijklmn	60
MQLM89-12	3386.2	ghijklmn	5
MQLM89-137	3373.2	hijklmn	50
MQLM89-135	3334.2	hijklmno	48
MQLM89-56	3294.4	ijklmnop	21
MQLM89-175	3274.5	jklmnop	63
MQLM89-124	3255.9	klmnopq	44
MQLM89-154	3244.2	lmnopq	59
MQLM89-4	3224.2	mnopq	1
MQLM89-179	3202.7	nopqr	64
MQLM89-75	3104.2	opqrs	25
MQLM89-69	3069.7	pqrs	24
MQLM89-127	3039.8	qrst	45
MQLM89-77	3032.9	qrst	26
MQLM89-33	2983.4	rstu	11
MQLM89-9	2966.0	stu	3
MQLM89-120	2962.5	stuv	40
MQLM89-136	2952.6	stuv	49
MQLM89-111	2904.9	stuv	36
MQLM89-145	2821.9	tuvw	53
MQLM89-66	2796.2	vwxy	23
MQLM89-42	2738.6	vwxy	15

	Rendimiento	Prueba de	Parcela
Material Genético	(kg/ha)	LSD	Tratamiento
MQLM89-110	2618.4	wxyz	35
MQLM89-83	2566.3	xyz	28
MQLM89-86	2552.7	yz	30
MQLM89-122	2508.7	za	42
MQLM89-15	2445.7	zab	8
MQLM89-85	2430.8	zabc	29
MQLM89-139	2319.9	abcd	51
MQLM89-31	2312.3	abcd	9
MQLM89-121	2224.1	bcde	41
MQLM89-43	2207.5	cde	16
MQLM89-50	2173.6	de	19
MQLM89-140	2004.8	ef	52
MQLM89-123	1801.1	fg	43
MQLM89-49	1695.5	gh	18
MQLM89-36	1690.3	gh	13
MQLM89-32	1603.4	ghi	10
MQLM89-8	1536.1	hi	2
MQLM89-35	1523.8	hi	12
MQLM89-59	1490.4	hi	22
QLM89-10	1392.5	i	4

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 3014.172. C.V.= 4.95 %

4.1.2 NÚMERO DE DÍAS AL 50 POR CIENTO DE FLORACIÓN

En el Cuadro N° 07 se presenta el valor medio del número de días al 50% floración de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. El rango de días para el inicio de la floración fue 60.9 a 93.1 días. La línea mutante que tardó más para iniciar esta fase fue MQLM89-85 (93.1 días) y la que requirió menos fue MQLM89-13 (60.9 días). Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 83.7 días es diferente de las líneas pertenecientes al 20% inferior de genotipos evaluados. El número de días al 50% floración promedio del experimento fue igual a 70.5 y 36 líneas presentaron valores inferiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 2.3%.

El rango de floración de las 63 líneas mutantes y el testigo está dentro de los valores encontrados por otros investigadores tal como se presenta a continuación:

Leonardo (1985) en la variedad Blanca de Junín en el distrito de Jauja, Junín señaló que el inicio de floración se dió a los 94 días.

Timaná (1992), en ensayos realizados con la quinua variedad La Molina 89, encontró que existe significación en días a floración por efecto de distintos niveles de abonamiento nitrogenado.

Echegaray (2003) en estudio en quinua en La Molina, en siembra en verano señala que la variedad La Molina 89 logró florear antes que la variedad Amarilla de Maranganí, en promedio la primera floreció a los 59.8 días y la segunda floreció a los 64 días, en los dos sistemas de riego empleados (riego indirecto y riego directo).

Cortés (2005), en estudio de tres ecotipos de quinua en Cundinamarca, Colombia encontró que el tiempo promedio en días a la floración fue de 111.9 para ecotipo 3, 114.3 días para ecotipo 2 y 117.8 días para ecotipo 1.

Gabriel (2013), en ensayos realizados en cultivares de quinua en el Valle Bajo de Cochabamba-Bolivia, para el 50 por ciento de floración en días, señala que el tiempo promedio desde la siembra a la floración fue de 87.9 días. El rango de variación de floración fue de 84.2 días para las más precoces y 93.6 días para las tardías.

Mendoza (2013), en un experimento reporta para el inicio de floración valores entre 43.3 días y 67.3 días para la accesión PEQPC-821 PUNO y PEQPC-461 CUZCO de quinua, respectivamente.

Cuadro N° 07. Medias del número de días al 50% de floración de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	N° días al 50% floración	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-85	93.1	a	29
MQLM89-59	92.6	a	22
MQLM89-123	90.9	a	43
MQLM89-31	85.0	b	9
QLM89-10	83.7	b	4
MQLM89-86	80.6	c	30
MQLM89-9	80.3	c	3
MQLM89-77	80.0	c	26
MQLM89-35	79.0	cd	12
MQLM89-42	79.0	cd	15
MQLM89-15	79.0	cd	8
MQLM89-75	79.0	cd	25
MQLM89-8	78.0	cde	2
MQLM89-4	76.9	def	1
MQLM89-69	75.9	efg	24
MQLM89-36	74.7	fgh	13
MQLM89-83	74.7	fgh	28
MQLM89-66	74.7	fgh	23
MQLM89-32	74.0	ghi	10
MQLM89-43	73.9	ghi	16

Material Genético	Nº días al 50% floración	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-114	73.0	hi	39
MQLM89-137	73.0	hi	50
MQLM89-122	73.0	hi	42
MQLM89-124	73.0	hi	44
MQLM89-50	72.9	hi	19
MQLM89-56	72.9	hi	21
MQLM89-33	71.9	i	11
MQLM89-48	71.6	i	17
MQLM89-140	68.7	j	52
MQLM89-136	68.7	j	49
MQLM89-120	68.7	j	40
MQLM89-49	68.7	j	18
MQLM89-112	68.0	jk	37
MQLM89-139	67.0	jkl	51
MQLM89-113	66.0	klm	38
MQLM89-146	65.9	klm	54
MQLM89-89	65.7	klm	31
MQLM89-92	65.7	klmn	32
MQLM89-111	65.4	lmno	36
MQLM89-149	65.0	lmnop	55
MQLM89-41	65.0	lmnop	14
MQLM89-150	64.9	lmnop	56
MQLM89-153	64.9	lmnop	58

	N° días al	Prueba	Parcela
Material	50%	de	
Genético	floración	LSD	Tratamiento
MQLM89-175	64.9	lmnop	63
MQLM89-164	64.9	lmnop	62
MQLM89-154	64.7	lmnopq	59
MQLM89-145	64.0	mnopq	53
MQLM89-131	63.9	mnopq	46
MQLM89-121	63.9	mnopq	41
MQLM89-152	63.9	mnopq	57
MQLM89-135	63.9	mnopq	48
MQLM89-179	63.9	mnopq	64
MQLM89-163	63.0	nopqr	61
MQLM89-110	63.0	nopqr	35
MQLM89-12	63.0	opqr	5
MQLM89-94	63.0	opqr	33
MQLM89-155	62.9	opqr	60
MQLM89-52	62.7	pqr	20
MQLM89-127	62.7	pqr	45
MQLM89-14	62.7	pqr	7
MQLM89-82	62.7	pqr	27
MQLM89-109	62.0	qr	34
MQLM89-134	62.0	qr	47
MQLM89-13	60.9	r	6

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 70.542. C.V.= 2.30%

4.1.3 NÚMERO DE DÍAS A LA MADUREZ

En el Cuadro N° 08 se presenta el valor medio del número de días a la madurez de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 92.6 a 127.9 días. El mayor valor del número de días a la madurez se encontró en la línea mutante MQLM89-85 y el menor valor en la línea MQLM89-13; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 117.2 días es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El número de días a la madurez promedio del experimento fue igual a 103.9 y 34 líneas presentaron valores inferiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 1.7%.

Leonardo (1985) en un experimento con la variedad Blanca de Junín, en el distrito de Jauja-Junín, encontró un promedio de madurez de cosecha de 176 días.

Según clasificación de Wahli (2009), se tiene para quinua, cultivares precoces (menor a 130 días), semi-precoces (entre 130 a 150 días), semi-tardíos (entre 150 a 180 días) y tardíos (mayor a 180 días a la madurez). De acuerdo a esta clasificación, todas las líneas mutantes en estudio son consideradas precoces.

En experimentos con quinua, Gabriel (2011) encontró para madurez fisiológica (días) un valor promedio de 125 días y un coeficiente de variabilidad de 4.91%, debido a la baja dispersión existente respecto al promedio. Los cultivares más precoces alcanzaron la madurez fisiológica a los 120 días, y los más tardíos a los 132 días.

Cuadro N° 08: Medias del número de días a la madurez de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	N° días a la madurez	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-85	127.9	a	29
MQLM89-123	124.2	b	43
MQLM89-59	119.8	c	22
QLM89-10	117.2	cd	4
MQLM89-31	116.8	de	9
MQLM89-15	115.6	def	8

		Prueba de	Parcela
Material Genético	Nº días a la madurez	LSD	Tratamiento
MQLM89-35	114.3	ef	12
MQLM89-42	114.1	ef	15
MQLM89-8	114.0	ef	2
MQLM89-86	114.0	ef	30
MQLM89-9	113.9	f	3
MQLM89-77	113.8	f	26
MQLM89-75	113.7	fg	25
MQLM89-69	110.8	gh	24
MQLM89-36	108.4	hi	13
MQLM89-122	108.2	hi	42
MQLM89-56	108.2	hi	21
MQLM89-124	108.2	hi	44
MQLM89-83	108.1	hi	28
MQLM89-4	108.1	hi	1
MQLM89-32	108.1	hi	10
MQLM89-66	108.1	hi	23
MQLM89-50	108.0	hi	19
MQLM89-48	107.9	i	17
MQLM89-43	107.9	ij	16
MQLM89-33	107.8	ij	11
MQLM89-137	107.8	ij	50
MQLM89-114	105.9	ijk	39
MQLM89-49	104.9	jk	18

		Prueba de	Parcela
Material Genético	Nº días a la madurez	LSD	Tratamiento
MQLM89-121	104.8	kl	41
MQLM89-139	102.0	lm	51
MQLM89-150	100.8	mn	56
MQLM89-146	100.3	mno	54
MQLM89-175	100.0	mnop	63
MQLM89-145	99.9	mnopq	53
MQLM89-112	99.4	mnopqr	37
MQLM89-136	99.1	nopqrs	49
MQLM89-92	98.9	nopqrst	32
MQLM89-127	98.1	nopqrstu	45
MQLM89-163	97.9	nopqrstuv	61
MQLM89-113	97.8	opqrstuv	38
MQLM89-14	97.7	opqrstuvw	7
MQLM89-153	97.6	opqrstuvw	58
MQLM89-111	97.3	pqrstuvw	36
MQLM89-89	97.3	pqrstuvw	31
MQLM89-94	97.2	qrstuvw	33
MQLM89-41	96.9	rstuvwxy	14
MQLM89-135	96.2	stuvwxy	48
MQLM89-140	96.2	tuvwxy	52
MQLM89-120	96.1	uvwxy	40
MQLM89-179	96.0	uvwxy	64
MQLM89-164	96.0	vwxyz	62

Material Genético	Nº días a la madurez	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-131	95.9	uvwxyz	46
MQLM89-154	95.9	uvwxyz	59
MQLM89-149	95.8	uvwxyz	55
MQLM89-152	95.4	uvwxyzza	57
MQLM89-110	95.4	uvwxyzza	35
MQLM89-12	95.1	vwxyza	5
MQLM89-155	94.9	wxyza	60
MQLM89-52	94.6	xyza	20
MQLM89-82	94.6	xyza	27
MQLM89-109	94.3	yzza	34
MQLM89-134	93.1	zza	47
MQLM89-13	92.6	a	6

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 103.860. C.V.= 1.70 %

4.1.4 ALTURA DE PLANTA

En el Cuadro N° 09 se presenta el valor medio de la altura de planta (cm) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 124.8 a 189.9 cm. El mayor valor de la altura de planta se encontró en la línea mutante MQLM89-85 y el menor valor en la línea MQLM89-145; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 152.9 días es diferente de las líneas de mayor y menor valor. La altura de planta (cm) promedio del experimento fue igual a 155.2. No se encontró líneas mutantes de porte bajo (menor a 120 cm). Una altura mayor a 120 cm, limita muchas prácticas agronómicas durante el cultivo y causa muchos problemas de acame. El coeficiente de variación para esta característica fue de 3.5%.

Leonardo (1985) para la variedad Blanca de Junín observó 141 cm de altura de planta con una densidad de 9 kg/ha de semilla y el nivel de abonamiento de 120-60-0.

Timaná (1992), en un estudio con la variedad La Molina 89, observó que la altura de planta se incrementó desde 119.8 cm (0 kg N/ha) hasta 133.6 cm (240 kg N/ha), teniendo una altura promedio de 128.7 cm.

Apaza (1995), alcanzó la máxima altura de 158 cm con la mayor dosis de N (160 kg N/ha) y la menor altura de 140 cm (testigo-sin aplicación de N).

En siembras de verano, Tapia (2003) para la variedad La Molina 89, obtuvo una altura promedio de 137 cm; Echegaray (2003) encontró una mayor altura bajo el sistema de riego indirecto (goteo), con una altura máxima de 147.1 cm (variedad LM89) y 126.6 cm (variedad Amarilla de Marangani).

Barnett (2005), para la variedad LM89 obtuvo un valor promedio de 165 cm, mayores a las obtenidas con la variedad Rosada de Huancayo de 137 cm y Blanca de Hualhuas con 145 cm.

Mercedes (2005) para La Molina, informa en experimentos de quinua alturas de planta promedio de 122 cm.

Quillatupa (2009) obtuvo una altura promedio de 197 cm en un estudio realizado en La Molina con 16 genotipos de quinua, destacando como las más altas aquellas provenientes del norte del país como el genotipo Cajamarca 2 con 262 cm de altura.

Risco (2011), en ensayo para la variedad Blanca de Junín encontró 112.8 cm en promedio para altura de planta.

Gordon (2011) obtiene, en condiciones de La Molina, una altura de planta promedio para la variedad Rosada de Huancayo y Pasankalla de 145.21 cm y 126.31, respectivamente.

Huamancusi (2012), observa que la altura de planta se incrementa conforme se eleva la dosis de nitrógeno aplicada, alcanzando 170 cm (80 kg/ha de nitrógeno) y 158 cm (testigo sin fertilizar).

Mendoza (2013), informa una altura de planta de 144 cm y un valor máximo de 166 cm para la accesión PEQPC-648/CUZCO.

Autores como León (2003), Bonifacio (2003) y Tapia (2003) citados por Mendoza (2013) indican que las quinuas de Valle alcanzan alturas de entre 2 y 2.50 m y que algunas llegan a medir 3.5 m, mientras que las quinuas del Altiplano alcanzan alturas de entre 1 y 1,8m. En este experimento la variedad en estudio pertenece al grupo de quinuas del Altiplano, las alturas de la mayoría de las líneas mutantes de quinua (37 líneas en total) fueron menor a 1.55 m (valor promedio obtenido), mayor al límite inferior reportado por los autores mencionados anteriormente. Tapia (2000), hace

referencia a la producción intensiva de quinua en Ecuador, donde se han logrado cultivares con menos de 1 metro de altura y un alto rendimiento de granos (mayor de 3t).

Cuadro N° 09. Medias de la altura de planta (cm) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	Altura de planta (cm)	Prueba de	Parcela
		LSD	Tratamiento
MQLM89-85	189.9	a	29
MQLM89-36	189.9	a	13
MQLM89-131	181.7	ab	46
MQLM89-31	181.4	ab	9
MQLM89-139	178.4	b	51
MQLM89-33	178.1	b	11
MQLM89-122	166.9	c	42
MQLM89-42	166.7	c	15
MQLM89-50	166.3	c	19
MQLM89-41	166.3	c	14
MQLM89-32	165.2	cd	10
MQLM89-113	165.2	cd	38
MQLM89-124	165.1	cd	44
MQLM89-35	164.8	cd	12
MQLM89-43	163.2	cde	16
MQLM89-89	161.9	cdef	31
MQLM89-150	161.5	cdefg	56
MQLM89-9	161.2	cdefg	3

	Altura de planta (cm)	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-86	159.6	cdefgh	30
MQLM89-135	158.9	cdefghi	48
MQLM89-82	158.4	cdefghij	27
MQLM89-149	158.2	cdefghij	55
MQLM89-77	158.2	cdefghij	26
MQLM89-112	157.1	defghijk	37
MQLM89-164	156.6	defghijk	62
MQLM89-137	155.1	efghijkl	50
MQLM89-121	155.0	efghijkl	41
MQLM89-136	154.9	efghijkl	49
MQLM89-92	154.9	efghijkl	32
MQLM89-69	154.8	efghijkl	24
MQLM89-146	154.8	efghijkl	54
MQLM89-14	154.7	efghijkl	7
MQLM89-12	154.7	efghijkl	5
MQLM89-75	153.6	fghijklm	25
MQLM89-114	153.5	fghijklm	39
MQLM89-120	153.3	fghijklm	40
MQLM89-52	153.2	fghijklm	20
MQLM89-83	153.2	fghijklm	28
QLM89-10	152.9	ghijklm	4
MQLM89-153	151.7	hijklmn	58
MQLM89-152	151.7	hijklmn	57

	Altura de	Prueba de	Parcela
Material Genético	planta (cm)	LSD	Tratamiento
MQLM89-4	151.5	hijklmn	1
MQLM89-56	151.2	hijklmn	21
MQLM89-154	150.5	ijklmn	59
MQLM89-127	150.1	ijklmn	45
MQLM89-140	149.9	ijklmn	52
MQLM89-15	149.7	ijklmn	8
MQLM89-49	148.9	klmno	18
MQLM89-123	148.6	klmno	43
MQLM89-179	148.3	klmno	64
MQLM89-109	147.2	lmnop	34
MQLM89-163	146.9	lmnop	61
MQLM89-111	146.8	lmnop	36
MQLM89-48	146.4	lmnop	17
MQLM89-59	144.9	mno pq	22
MQLM89-175	143.7	nopq	63
MQLM89-134	140.5	opqr	47
MQLM89-94	138.5	pqr	33
MQLM89-110	136.7	qrs	35
MQLM89-155	136.5	qrs	60
MQLM89-13	133.2	rst	6
MQLM89-66	128.3	st	23
MQLM89-8	125.2	t	2
MQLM89-145	124.8	t	53

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0,05$, $n = 3$). Media general = 155.172. C.V. = 3.50 %

4.1.5 DAÑOS POR MILDIÚ (*Peronospora variabilis*)

En el Cuadro N° 10 se presenta el valor medio del porcentaje de daño foliar por mildiú de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 8.0 a 23.4%. El mayor porcentaje de daño foliar por mildiú o severidad se encontró en la línea mutante MQLM89-110 y el menor valor en la línea MQLM89-36; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación obtuvo un valor de 9.8%. El porcentaje de daño foliar por mildiú promedio del experimento fue igual a 12.1, superior al testigo. El 26.98% del total (17 materiales evaluados) presentaron valores menores al 10 por ciento de daño. El coeficiente de variación fue de 28.1 por ciento.

El mildiú es la enfermedad de la quinua que causa mayores daños a la planta. Condiciones cálidas, humedad relativa superior a 80 %, temperaturas entre 20 y 25° C favorecen su infección (Jacobsen y Risi, 1998). Existen variedades que sufren infecciones escalonadas o sistémicas; otras evidencian un alto grado de tolerancia o resistencia. La enfermedad se presenta en la mayoría de los lugares donde se cultiva la quinua, por la gran diversidad genética del patógeno y su amplio rango de adaptabilidad. En condiciones de alta presión de enfermedad, reduce los rendimientos de 33 a 58% (Danielsen *et al.*, 2000). Asimismo, afirma que la reacción de la planta ante el ataque de *Peronospora*, es decir la expresión de los síntomas, es influenciado por el genotipo de la planta, por el genotipo del patógeno y por las condiciones medio ambientales. El efecto conocido del mildiú es la defoliación que causa en la planta, entre más temprano la infección, mayor es el grado de defoliación. Temperaturas frescas y humedad relativa alta (mayor a 80%) y persistente (rocío al amanecer) y persistencia de este hasta altas horas de la mañana, son factores determinantes para el crecimiento del patógeno y diseminación de la enfermedad en el campo.

Bonifacio (2001) señala que para la expresión, el mildiú requiere de condiciones ambientales más o menos específicas, siendo la alta humedad relativa del ambiente la condición más preponderante, aunque también se requiere temperaturas relativamente frescas. Por tanto, la enfermedad no se presenta con la misma intensidad en las diferentes zonas de producción de quinua. En un experimento en quinua, en Viacha, La Paz, se encontró, un rango de severidad relativamente bajo de 20 y 35 por ciento.

Delgado (2009) informa, en un estudio de genotipos de quinua dulce en Nariño, Colombia, el ataque de mildiú entre 12,88 y 45 por ciento; destacando el grupo SL47 con menor porcentaje con diferencias no significativas respecto a su testigo.

Mendoza (2013) estudiando la infección por mildiú en genotipos de quinua, en La Molina, encontró un valor promedio igual a 35 por ciento y un rango de infección de 26.67 a 50 por ciento, sin control de la enfermedad por fines del experimento.

Cuadro N° 10. Medias del porcentaje de daño por mildiú de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Mildiú	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-110	23.4	a	35
MQLM89-111	19.4	ab	36
MQLM89-112	19.3	abc	37
MQLM89-134	16.6	bcd	47
MQLM89-109	16.6	bcd	34
MQLM89-124	16.6	bcd	44
MQLM89-86	13.8	bcde	30
MQLM89-179	13.7	cde	64
MQLM89-41	13.6	def	14
MQLM89-153	13.6	def	58
MQLM89-145	13.6	def	53
MQLM89-155	13.6	def	60
MQLM89-131	13.5	def	46
MQLM89-137	13.5	def	50
MQLM89-163	13.5	def	61
MQLM89-152	13.5	def	57
MQLM89-83	13.5	def	28
MQLM89-92	13.5	def	32
MQLM89-50	13.4	def	19
MQLM89-139	13.4	def	51

		Prueba de	Parcela
Material Genético	% Mildiú	LSD	Tratamiento
MQLM89-154	13.4	def	59
MQLM89-42	13.3	def	15
MQLM89-43	13.3	def	16
MQLM89-59	13.3	def	22
MQLM89-94	13.2	def	33
MQLM89-113	13.1	def	38
MQLM89-114	13.1	def	39
MQLM89-122	13.1	def	42
MQLM89-66	13.1	def	23
MQLM89-49	12.9	def	18
MQLM89-135	12.8	def	48
MQLM89-164	10.7	ef	62
MQLM89-175	10.6	ef	63
MQLM89-8	10.6	ef	2
MQLM89-9	10.6	ef	3
MQLM89-13	10.6	ef	6
MQLM89-89	10.4	ef	31
MQLM89-4	10.4	ef	1
MQLM89-12	10.3	ef	5
MQLM89-14	10.3	ef	7
MQLM89-82	10.3	ef	27
MQLM89-136	10.2	ef	49
MQLM89-146	10.2	ef	54

		Prueba de	Parcela
Material Genético	% Mildiú	LSD	Tratamiento
MQLM89-149	10.2	ef	55
MQLM89-15	10.2	ef	8
MQLM89-85	10.1	ef	29
MQLM89-77	10.0	ef	26
MQLM89-140	9.9	ef	52
MQLM89-123	9.9	ef	43
MQLM89-150	9.9	ef	56
MQLM89-33	9.9	ef	11
QLM89-10	9.8	ef	4
MQLM89-56	9.7	ef	21
MQLM89-48	9.7	ef	17
MQLM89-52	9.7	ef	20
MQLM89-31	9.6	ef	9
MQLM89-69	9.6	ef	24
MQLM89-127	9.6	ef	45
MQLM89-75	9.5	ef	25
MQLM89-32	9.4	ef	10
MQLM89-120	9.4	ef	40
MQLM89-121	9.4	ef	41
MQLM89-35	8.2	ef	12
MQLM89-36	8.0	f	13

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 12.083. C.V.= 28.1 %

4.2 CARACTERES DE CALIDAD

Para cumplir con este objetivo se han hecho la determinación de las siguientes características de calidad: peso de 1000 granos (g), saponina (%) y proteína (%). Los datos de estas evaluaciones fueron analizadas y los resultados del ANVA, cuadrados medios y el nivel de significación se presentan en el Cuadro N° 01.

Para repeticiones no hubo significación estadística para peso de mil granos, porcentaje de saponina y porcentaje de proteína. Para Bloques/repeticiones no hubo significación estadística para porcentaje de saponina y porcentaje de proteína y significación estadística para peso de 1000 granos (g). Para tratamientos se encontró significación altamente significativa para peso de 1000 granos (g), porcentaje de saponina y porcentaje de proteína.

El coeficiente de variación fue de 3.5% para peso de 1000 granos (g), 7.2% para porcentaje de saponina y 1.6% para porcentaje de proteína.

4.2.1 PESO DE MIL GRANOS

En el Cuadro N° 11 se presenta el valor medio de peso de mil granos (g) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. El mayor valor de peso de 1000 granos se encontró en la línea mutante MQLM89-4 con 3.53 g. y el menor valor en la línea MQLM89-123 con 2.47 g.; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 3.06 g es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El peso de mil granos (g) promedio del experimento fue igual a 3.12 y 32 líneas mutantes presentaron valores superiores al promedio. De las 32 líneas, 24 líneas (37.5% de total de material evaluado) obtuvieron rendimientos por encima de los 3000 kg/ha. El coeficiente de variación fue de 3.5 por ciento.

Leonardo (1985), reporta que el uso de fertilizantes mejora las características de peso de mil granos, obteniendo valores de 3.42 gr. (sin abonamiento) hasta 3.66 gr (60-60-0) para la variedad Blanca de Junín.

Apaza (1995) para la variedad La Molina 89 obtuvo con un distanciamiento de 70 cm un mayor llenado de grano en promedio de 3.16 g.

En el ensayo llevado a cabo por Barnett (2005), el peso de mil granos promedio para las variedades estudiadas fueron: Rosada de Huancayo con 1.87 g., Blanca de Hualhuas con 1.61 g., y La Molina 89 con 2.48 g.

Quillatupa (2009), para genotipos de quinua obtiene un peso promedio de peso de 1000 granos de 4.65 g (accesión Cuzco 1). Delgado (2009) en la evaluación de genotipos de

quinua dulce en Iles, Nariño-Colombia, para peso de mil granos promedio encontró valores entre 2.52 g para Tunkahuan (testigo) y 3.45 g para Piartal.

Según Wahli (1990) citado por Delgado (2009), los granos se clasifican así: grano grande (> 3 g) y grano mediano (2.5 y 3 g). Según Mujica *et al* (2001), el peso de mil granos varía de 1.93 a 3.35 g con un promedio de 2.3 g. Considerando esta información 8 líneas mutantes de quinua, del presente experimento, tienen un peso de mil granos mayor al valor más alto reportado por ambos autores mencionados anteriormente.

Gordon (2011) para peso de 1000 granos obtuvo 1.95 g y 1.58 g para la variedad Pasankalla y Rosada de Huancayo, respectivamente.

Huamancusi (2012) para la variedad La Molina 89 observa que el peso de mil granos se incrementa conforme se eleva la dosis de nitrógeno aplicada, concluyendo que un nivel de 120 kg/ha nitrógeno aplicado se obtiene un peso de 3.16 g, un buen peso de 1000 granos.

Cuadro N° 11. Medias de peso de mil granos (g) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013^a

Material Genético	Peso de 1000 granos (g)	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-4	3.53	a	1
MQLM89-110	3.53	a	35
MQLM89-48	3.51	ab	17
MQLM89-134	3.43	abc	47
MQLM89-52	3.43	abc	20
MQLM89-89	3.42	abc	31
MQLM89-69	3.40	abcd	24
MQLM89-175	3.37	abcde	63
MQLM89-94	3.35	abcdef	33
MQLM89-127	3.34	bcdefg	45
MQLM89-163	3.33	bcdefg	61

	Peso de	Prueba de	Parcela
Material Genético	1000 granos (g)	LSD	Tratamiento
MQLM89-135	3.33	cdefg	48
MQLM89-145	3.32	cdefgh	53
MQLM89-12	3.31	cdefghi	5
MQLM89-153	3.29	cdefghij	58
MQLM89-42	3.28	cdefghijk	15
MQLM89-112	3.26	cdefghijkl	37
MQLM89-113	3.26	cdefghijklm	38
MQLM89-66	3.25	cdefghijklmn	23
MQLM89-179	3.24	defghijklmno	64
MQLM89-49	3.23	defghijklmnop	18
MQLM89-41	3.22	defghijklmnop	14
MQLM89-43	3.21	efghijklmnopq	16
MQLM89-14	3.21	efghijklmnopq	7
MQLM89-92	3.18	fghijklmnopqr	32
MQLM89-9	3.17	fghijklmnopqrs	3
MQLM89-31	3.17	fghijklmnopqrs	9
MQLM89-137	3.15	ghijklmnopqrst	50
MQLM89-8	3.14	hijklmnopqrst	2
MQLM89-13	3.14	ijklmnopqrstu	6
MQLM89-35	3.13	jklmnopqrstu	12
MQLM89-15	3.12	jklmnopqrstuv	8
MQLM89-131	3.12	jklmnopqrstuv	46
MQLM89-77	3.11	klmnopqrstuv	26

	Peso de	Prueba de	Parcela
Material Genético	1000 granos (g)	LSD	Tratamiento
MQLM89-36	3.09	lmnopqrstuv	13
MQLM89-114	3.09	lmnopqrstuv	39
MQLM89-56	3.09	lmnopqrstuv	21
MQLM89-120	3.08	lmnopqrstuv	40
MQLM89-33	3.08	lmnopqrstuvw	11
MQLM89-139	3.08	mnpqrstuvw	51
MQLM89-111	3.07	nopqrstuvw	36
MQLM89-32	3.06	opqrstuvw	10
QLM89-10	3.06	opqrstuvw	4
MQLM89-86	3.05	pqrstuvw	30
MQLM89-164	3.04	qrstuvw	62
MQLM89-122	3.03	qrstuvw	42
MQLM89-109	3.03	qrstuvw	34
MQLM89-155	3.01	rstuvwxy	60
MQLM89-140	3.01	rstuvwxy	52
MQLM89-83	2.99	stuvwxy	28
MQLM89-121	2.98	tuvwxy	41
MQLM89-150	2.98	tuvwxy	56
MQLM89-152	2.96	uvwxyz	57
MQLM89-136	2.94	vWXYZ	49
MQLM89-82	2.90	wxyz	27
MQLM89-85	2.86	xyza	29
MQLM89-75	2.83	yza	25

	Peso de	Prueba de	Parcela
Material Genético	1000 granos (g)	LSD	Tratamiento
MQLM89-124	2.78	za	44
MQLM89-146	2.72	ab	54
MQLM89-149	2.69	ab	55
MQLM89-50	2.69	ab	19
MQLM89-154	2.69	ab	59
MQLM89-59	2.60	bc	22
MQLM89-123	2.47	c	43

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 3.120. C.V.= 3.5 %

4.2.2 PORCENTAJE DE SAPONINA

En el Cuadro N° 12 se presenta el valor medio del porcentaje de saponina de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 0.39 a 1.34 por ciento. El mayor valor de % saponina se encontró en la línea mutante MQLM89-36 y el menor valor en la línea MQLM89-145; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 0.70 por ciento (amargo) es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El porcentaje de saponina promedio del experimento fue igual a 0.84 y 33 líneas presentaron valores inferiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 7.2%.

El porcentaje de saponina fue variable, observándose solo ocho líneas mutantes consideradas semidulces (porcentaje de saponina menor a 0.59 por ciento). Unas 55 líneas mutantes mostraron alto contenido de saponina (amargo). El contenido de saponina en quinua es heredable, siendo recesivo el carácter dulce. La saponina se ubica en la primera membrana o pericarpio. Su contenido y adherencia en los granos es muy variable y ha sido motivo de varios estudios y técnicas para eliminarla (Gandarillas, 1979).

La saponina con niveles desde 0.2 a 0.4 g/kg de materia seca son propios de genotipos de quinuas considerados dulces, las quinuas amargas varían desde 4.7 a 11.3 g/kg (Gonzales *et al* 1989, Mastebroek *et al* 2000, Comai *et al* 2007 citados por Borges, 2010).

Gordon (2011), obtuvo para porcentaje de saponina en promedio 0.06 y 0.07% para la variedad Pasankalla y Rosada de Huancayo, respectivamente.

Mendoza (2013) encontró porcentaje promedio de saponina en el grano un valor igual a 0.91 por ciento, y que la accesión PEQPC-498/CUZCO (1535.10 kg/ha) produjo mayor cantidad de grano con 0.66 % de saponina.

Cuadro N° 12. Medias del % saponina de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Saponina	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-36	1.34	a	13
MQLM89-123	1.28	ab	43
MQLM89-140	1.26	ab	52
MQLM89-31	1.23	b	9
MQLM89-75	1.21	b	25
MQLM89-85	1.20	b	29
MQLM89-35	1.19	b	12
MQLM89-146	1.09	c	54
MQLM89-137	1.08	c	50
MQLM89-122	1.08	cd	42
MQLM89-43	1.05	cde	16
MQLM89-149	1.03	cdef	55
MQLM89-59	1.02	cdef	22
MQLM89-9	1.01	cdefg	3
MQLM89-164	0.99	cdefgh	62
MQLM89-124	0.99	cdefgh	44
MQLM89-8	0.99	defgh	2
MQLM89-14	0.96	efghi	7
MQLM89-139	0.96	fghij	51

Material Genético	% Saponina	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-131	0.94	fg hij	46
MQLM89-136	0.92	gh ijk	49
MQLM89-33	0.91	hij k	11
MQLM89-15	0.88	ijkl	8
MQLM89-110	0.88	ijkl	35
MQLM89-135	0.87	ijklm	48
MQLM89-50	0.87	ijklmn	19
MQLM89-113	0.87	jklmn	38
MQLM89-179	0.87	jklmn	64
MQLM89-121	0.85	klmno	41
MQLM89-4	0.85	klmno	1
MQLM89-42	0.84	klmnop	15
MQLM89-49	0.84	klmnop	18
MQLM89-112	0.83	klmnop	37
MQLM89-89	0.81	lmnopq	31
MQLM89-114	0.81	lmnopq	39
MQLM89-120	0.81	lmnopqr	40
MQLM89-83	0.80	lmnopqrs	28
MQLM89-127	0.79	mnopqrst	45
MQLM89-109	0.78	nopqrst	34
MQLM89-86	0.76	opqrstu	30
MQLM89-66	0.75	pqrstuv	23
MQLM89-134	0.74	qrstuvw	47
MQLM89-52	0.73	qrstuvw	20

Material Genético	% Saponina	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-152	0.71	rstuvw	57
MQLM89-41	0.71	stuvw	14
MQLM89-111	0.71	stuvw	36
MQLM89-150	0.70	tuvw	56
MQLM89-56	0.70	tuvw	21
QLM89-10	0.70	tuvw	4
MQLM89-32	0.69	tuvw	10
MQLM89-153	0.68	uvwxy	58
MQLM89-82	0.67	uvwxy	27
MQLM89-175	0.67	vwx	63
MQLM89-69	0.65	wxy	24
MQLM89-154	0.63	xyz	59
MQLM89-94	0.62	xyza	33
MQLM89-48	0.55	yza	17
MQLM89-92	0.55	zab	32
MQLM89-163	0.54	abc	61
MQLM89-77	0.48	bcd	26
MQLM89-155	0.44	cde	60
MQLM89-13	0.44	de	6
MQLM89-12	0.42	de	5
MQLM89-145	0.39	e	53

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$).
Media general = 0.843. C.V.= 7.2 %

4.2.3 PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO

En el Cuadro N° 13 se presenta el valor medio del porcentaje de proteína del grano de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 10.59 a 14.69 %. El mayor valor de porcentaje de proteína se encontró en la línea mutante MQLM89-42 y el menor valor en la línea MQLM89-149; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 12.31 por ciento es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El porcentaje de proteína promedio del experimento fue igual a 13.029 y 32 líneas presentaron valores superiores al promedio. Del material evaluado, 15 líneas obtuvieron rendimiento mayor a 3000 kg/ha y % proteína superior al promedio. En general, el porcentaje de proteína fue diferente entre las líneas mutantes. El coeficiente de variación fue de 1.6%.

Los valores máximos y mínimos según varios autores para proteína de quinua varían entre 11 a 21.3 g/ 100g (Junge, 1975 citado por Tapia, 1997). Repo (1998) citado por Tapia (2012), señala que el porcentaje de proteína en quinua varía de 10 a 16 %. Según Mujica *et al.*, (2001) el contenido de proteína en el grano es considerado alto entre 12 a 20 por ciento.

Leonardo (1985) en un experimento con la variedad Blanca de Junín, obtuvo el mayor porcentaje de proteína de 17.46 % con una densidad de 6 kg/ha de semilla y el nivel de abonamiento de 120-60-0.

Fonseca (1985) en estudio para quinua variedad Blanca de Junín, con un nivel de abonamiento de (80-80-0) y diferentes fuentes de abonamiento nitrogenado, concluye que la adición de un fertilizante fosforado a las fuentes nitrogenadas trajo consigo un incremento de proteínas del grano, con un valor de 191.11 kg/ha. Asimismo, concluye que la fuente úrea tuvo un mayor efecto favorable en la absorción de N y contenido de proteínas del grano.

Berti *et al.*, (1995) en estudios de la quinua, con los genotipos UDEC-10 y FARO reporta que el contenido promedio de proteína de los tratamientos estudiados fluctuó entre 12,17 y 15,16 %.

Arias (2002) encontró en mutantes de quinua de la variedad La Molina 89, población M₄, un rango de proteína del grano de 14.1 a 19.5 % y el material parental con 17.4 %.

Barnett (2005) encontró porcentaje de proteína promedio de 16.71 %, 16.87 % y 16.38 % para las variedades Rosada de Huancayo, Blanca de Hualhuas y La Molina 89, respectivamente.

Gordon (2011) obtuvo para proteína en promedio 11.68 % para la variedad Pasankalla y 11.58 % para Rosada de Huancayo.

Risco (2011) en estudio para la variedad Blanca de Junín encontró el contenido de proteína más alto de 14.6 % con el tratamiento guano de isla y distanciamiento de surco de 80 cm.

Mendoza (2013), en un estudio realizado en La Molina, encontró un valor promedio de proteína de 11.57 por ciento y el mayor porcentaje de proteína en el grano igual a 15.56 % fue encontrado en la accesión PEQPC 2933/APURIMAC.

Cuadro N° 13. Medias del % de proteína de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Proteína	Prueba de LSD	Parcela
			Tratamiento
MQLM89-42	14.69	a	15
MQLM89-31	14.51	ab	9
MQLM89-43	14.32	bc	16
MQLM89-175	14.32	bc	63
MQLM89-109	14.24	bcd	34
MQLM89-32	14.18	bcde	10
MQLM89-154	14.11	cdef	59
MQLM89-33	13.93	defg	11
MQLM89-41	13.89	efg	14
MQLM89-56	13.89	efg	21
MQLM89-85	13.85	fgh	29
MQLM89-113	13.77	ghi	38
MQLM89-77	13.73	ghij	26
MQLM89-13	13.61	ghijk	6
MQLM89-48	13.52	Hijkl	17
MQLM89-9	13.52	Hijkl	3

Material Genético	% Proteína	Prueba de LSD	Parcela
			Tratamiento
MQLM89-179	13.51	Ijkl	64
MQLM89-66	13.51	Ijkl	23
MQLM89-110	13.45	Ijkl	35
MQLM89-111	13.40	Jklm	36
MQLM89-36	13.39	Klm	13
MQLM89-152	13.37	Klm	57
MQLM89-114	13.36	Klm	39
MQLM89-145	13.27	Lmn	53
MQLM89-35	13.27	Lmn	12
MQLM89-136	13.22	Lmn	49
MQLM89-92	13.22	Lmn	32
MQLM89-134	13.20	Lmno	47
MQLM89-164	13.20	Lmno	62
MQLM89-112	13.20	Lmno	37
MQLM89-12	13.10	mnop	5
MQLM89-4	13.09	mnopq	1
MQLM89-89	12.97	nopqr	31
MQLM89-163	12.94	nopqrs	61
MQLM89-153	12.88	opqrst	58
MQLM89-15	12.88	opqrst	8
MQLM89-50	12.87	opqrst	19
MQLM89-121	12.84	pqrst	41
MQLM89-120	12.81	pqrst	40

Material Genético	% Proteína	Prueba de LSD	Parcela
			Tratamiento
MQLM89-49	12.76	qrst	18
MQLM89-135	12.73	rstu	48
MQLM89-146	12.71	rstu	54
MQLM89-124	12.71	rstu	44
MQLM89-8	12.69	rstu	2
MQLM89-150	12.65	rstuv	56
MQLM89-69	12.63	stuvw	24
MQLM89-52	12.63	stuvw	20
MQLM89-94	12.62	stuvw	33
MQLM89-140	12.60	tuvw	52
MQLM89-122	12.42	uvwxy	42
MQLM89-14	12.42	uvwxy	7
MQLM89-83	12.42	uvwxy	28
MQLM89-155	12.34	vwx	60
MQLM89-82	12.34	vwx	27
MQLM89-139	12.33	vwx	51
MQLM89-123	12.32	vwx	43
QLM89-10	12.31	wx	4
MQLM89-127	12.24	xy	45
MQLM89-137	12.14	xy	50
MQLM89-86	11.96	yz	30
MQLM89-131	11.79	Z	46
MQLM89-75	11.37	A	25

43972

Material Genético	% Proteína	Prueba de LSD	Parcela
			Tratamiento
MQLM89-59	10.80	B	22
MQLM89-149	10.59	B	55

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 13.029. C.V. = 1.6 %

OBJETIVO 2.-

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN LA ABSORCIÓN Y USO DEL NITRÓGENO DISPONIBLE Y APLICADO EN EL SUELO.

Para cumplir con este objetivo se han hecho las siguientes evaluaciones: % nitrógeno en tallo, % nitrógeno en inflorescencia, % nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno (EFN), eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAN), eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN) y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN); aplicando las fórmulas descritas en Materiales y Métodos, y en plantas después de la madurez de cosecha. Los datos de estas evaluaciones fueron analizadas y los resultados del ANVA, cuadrados medios y el nivel de significación se presentan en el Cuadro N° 14.

Para repeticiones no hubo significación estadística para porcentaje de nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno y eficiencia interna de utilización de nitrógeno; significación estadística para porcentaje de nitrógeno en tallo y significación altamente significativa para porcentaje de nitrógeno en inflorescencia, eficiencia agronómica de uso del nitrógeno y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno. Para bloques/repeticiones no hubo significación estadística para porcentaje de nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno, eficiencia agronómica de uso del nitrógeno, eficiencia interna de utilización de nitrógeno y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno; se encontró significación estadística para porcentaje de nitrógeno en tallo y porcentaje de nitrógeno en inflorescencia.

Para tratamientos se encontró significación estadística sólo para eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno y significación altamente significativa para porcentaje de nitrógeno en tallo, porcentaje de nitrógeno en inflorescencia, porcentaje de nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia agronómica de uso del nitrógeno, eficiencia interna de utilización de nitrógeno y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 11.8% para % nitrógeno en tallo, 3.2% para % nitrógeno en inflorescencia, 1.6% para % nitrógeno en grano, 5.0% para eficiencia de uso de nitrógeno, 32.2% para eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno, 9.2% para eficiencia agronómica de uso del nitrógeno, 1.6% para eficiencia interna de utilización de nitrógeno y 9.8% para eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno.

4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO EN LA PLANTA

4.3.1 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN TALLO

En el Cuadro N° 15 se presenta el valor medio del porcentaje de nitrógeno en tallo de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 0.26 a 0.44 por ciento. El mayor contenido de N en el tallo se encontró en la línea mutante MQLM89-42 y el menor valor en la línea MQLM89-13; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 0.33 por ciento es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El porcentaje de nitrógeno en tallo promedio del experimento fue igual a 0.35 y 30 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 11.8%.

Fonseca (1985), evaluó el contenido de nitrógeno en el tallo de quinua sobresaliendo el tratamiento con 80-40-0 con el N proveniente de la urea, a los 75, 105, 165 y 200 días post-siembra teniendo 1.30, 1.02, 0.51 y 0.26% de nitrógeno en tallo; respectivamente, por lo cual concluye que a medida que la planta avanza en su desarrollo, hay una decreciente concentración de N en las hojas y tallos, lo que también fue informado en trigo por Sipson *et al.* (1982,1983) citado por Fonseca (1985).

Morales (2012) en estudio realizado en Ayacucho, evaluó el contenido de nitrógeno del tallo en quinua encontrando a los 67 y 135 días después de la siembra valores de 2.98% y 1.08%, respectivamente.

Cuadro N° 14. Cuadrados medios de % nitrógeno en tallo, % nitrógeno en inflorescencia, % nitrógeno en grano, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia fisiológica de nitrógeno, eficiencia agronómica de nitrógeno, eficiencia interna de utilización de nitrógeno y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno de líneas mutantes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

FV	G.L.	% Nitrógeno en tallo	% Nitrógeno en inflorescencia	% Nitrógeno en grano	Eficiencia de uso de Nitrógeno	Eficiencia fisiológica de uso del Nitrógeno	Eficiencia agronómica de uso del Nitrógeno	Eficiencia interna de utilización de Nitrógeno	Eficiencia aparente de recuperación de Nitrógeno
Repeticiones	2	0.0075623 *	0.03051 ****	0.001392	1.672	284.89	45.499 ****	0.7146	0.030601 ****
Bloques /Repetición	21	0.0040063 **	0.00601 **	0.000883	2.018	197.55	2.02	0.4847	0.001208
Tratamientos	63	0.0050276 ****	0.35116 ****	0.050688 ****	284.129****	290.87 *	284.138 ****	29.6807 ****	0.126758 ****
Error	105	0.001673	0.00287	0.001135	3.485	196.27	3.485	0.6022	0.001858
Total	191								
C.V. %		11.8	3.2	1.6	5.0	32.2	9.2	1.6	9.8
Promedio		0.35	1.68	2.08	37.68	43.55	20.26	48.17	44.20

EUN = Eficiencia de Uso de Nitrógeno (%)

ERN = Eficiencia aparente de recuperación de Nitrógeno (%)

EFN = Eficiencia fisiológica de Nitrógeno (Kg/Kg)

EAN = Eficiencia agronómica de Nitrógeno (Kg/Kg)

EIN = Eficiencia interna de utilización de Nitrógeno (Kg/Kg)

Cuadro N° 15. Medias del porcentaje de nitrógeno en tallo de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Nitrógeno en tallo	Prueba de	Parcela
		LSD	Tratamiento
MQLM89-42	0.44	a	15
MQLM89-83	0.44	ab	28
MQLM89-31	0.42	abc	9
MQLM89-89	0.42	abcd	31
MQLM89-136	0.41	abcde	49
MQLM89-111	0.41	abcde	36
MQLM89-112	0.41	abcde	37
MQLM89-69	0.39	abcdef	24
MQLM89-8	0.39	abcdefg	2
MQLM89-41	0.39	abcdefgh	14
MQLM89-49	0.38	abcdefgh	18
MQLM89-4	0.38	abcdefgh	1
MQLM89-33	0.38	abcdefgh	11
MQLM89-59	0.38	abcdefgh	22
MQLM89-50	0.38	abcdefgh	19
MQLM89-36	0.37	bcdefghi	13
MQLM89-135	0.37	cdefghij	48
MQLM89-94	0.37	cdefghijk	33
MQLM89-35	0.37	cdefghijk	12
MQLM89-123	0.36	cdefghijk	43

	% Nitrógeno en tallo	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-92	0.36	cdefghijkl	32
MQLM89-140	0.36	cdefghijkl	52
MQLM89-85	0.36	cdefghijklm	29
MQLM89-175	0.36	cdefghijklm	63
MQLM89-124	0.36	cdefghijklmn	44
MQLM89-32	0.35	cdefghijklmno	10
MQLM89-109	0.35	cdefghijklmno	34
MQLM89-114	0.35	cdefghijklmno	39
MQLM89-75	0.35	defghijklmnop	25
MQLM89-15	0.35	efghijklmnop	8
MQLM89-152	0.35	efghijklmnop	57
MQLM89-77	0.35	efghijklmnop	26
MQLM89-164	0.34	efghijklmnop	62
MQLM89-154	0.34	efghijklmnopq	59
MQLM89-149	0.34	efghijklmnopq	55
MQLM89-153	0.34	efghijklmnopq	58
MQLM89-12	0.34	efghijklmnopq	5
MQLM89-43	0.34	efghijklmnopq	16
MQLM89-127	0.34	efghijklmnopq	45
MQLM89-122	0.34	efghijklmnopq	42
MQLM89-86	0.33	fghijklmnopqr	30
QLM89-10	0.33	fghijklmnopqr	4
MQLM89-9	0.33	fghijklmnopqr	3

	% Nitrógeno en tallo	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-145	0.33	fghijklmnopqr	53
MQLM89-113	0.33	fghijklmnopqr	38
MQLM89-120	0.33	ghijklmnopqrs	40
MQLM89-179	0.32	hijklmnopqrs	64
MQLM89-110	0.32	hijklmnopqrs	35
MQLM89-121	0.32	hijklmnopqrs	41
MQLM89-82	0.31	ijklmnopqrs	27
MQLM89-137	0.30	ijklmnopqrs	50
MQLM89-48	0.30	ijklmnopqrs	17
MQLM89-56	0.30	jklmnopqrs	21
MQLM89-14	0.29	klmnopqrs	7
MQLM89-150	0.29	lmnopqrs	56
MQLM89-52	0.29	mnopqrs	20
MQLM89-163	0.29	mnopqrs	61
MQLM89-134	0.29	mnopqrs	47
MQLM89-139	0.29	nopqrs	51
MQLM89-155	0.28	opqrs	60
MQLM89-146	0.28	pqrs	54
MQLM89-131	0.27	qrs	46
MQLM89-66	0.27	rs	23
MQLM89-13	0.26	s	6

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 0.345. C.V.= 11.8 %

4.3.2 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN INFLORESCENCIA

En el Cuadro N° 16 se presenta el valor medio del porcentaje de nitrógeno en inflorescencia de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 1.16 a 2.67 por ciento. El mayor contenido de nitrógeno en inflorescencia se encontró en la línea mutante MQLM89-35 y el menor valor en la línea MQLM89-109; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 1.7 por ciento es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El porcentaje de nitrógeno en inflorescencia promedio del experimento fue igual a 1.67 y 26 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 3.2 porciento.

Al igual que en los cereales, en la etapa final disminuye el contenido de N del perigonio sepaloide o envoltura floral, aparentemente por translocación del N de las envolturas florales al grano (Fonseca, 1985).

Morales (2012), evaluó el contenido de nitrógeno en la panoja encontrando que el contenido de N disminuye conforme la planta es más vieja, teniendo a los 67 y 135 días después de la siembra, 4.08% y 2.33%, respectivamente.

Cuadro N° 16. Medias del porcentaje de nitrógeno en inflorescencia de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Nitrógeno en inflorescencia	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-35	2.67	a	12
MQLM89-36	2.55	b	13
MQLM89-9	2.53	b	3
MQLM89-31	2.42	c	9
MQLM89-15	2.32	d	8
MQLM89-33	2.32	d	11
MQLM89-77	2.07	e	26
MQLM89-12	2.07	e	5
MQLM89-111	2.07	e	36

Material Genético	% Nitrógeno en inflorescencia	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-124	2.02	ef	44
MQLM89-41	2.01	ef	14
MQLM89-8	2.01	ef	2
MQLM89-32	1.94	fg	10
MQLM89-152	1.91	gh	57
MQLM89-123	1.91	gh	43
MQLM89-85	1.88	ghi	29
MQLM89-49	1.82	hij	18
MQLM89-59	1.82	ij	22
MQLM89-42	1.79	ijk	15
MQLM89-121	1.79	ijk	41
MQLM89-83	1.77	jkl	28
MQLM89-153	1.76	jkl	58
QLM89-10	1.76	jkl	4
MQLM89-82	1.73	klm	27
MQLM89-92	1.69	lmn	32
MQLM89-43	1.68	lmn	16
MQLM89-94	1.66	mno	33
MQLM89-179	1.65	mnop	64
MQLM89-4	1.64	nopq	1
MQLM89-145	1.62	nopqr	53
MQLM89-150	1.58	opqrs	56
MQLM89-146	1.56	pqrst	54

Material Genético	% Nitrógeno en inflorescencia	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-137	1.55	qrstu	50
MQLM89-112	1.54	rstu	37
MQLM89-136	1.54	rstuv	49
MQLM89-127	1.54	rstuv	45
MQLM89-110	1.53	rstuv	35
MQLM89-14	1.52	stuvw	7
MQLM89-66	1.51	stuvwx	23
MQLM89-135	1.51	stuvwx	48
MQLM89-164	1.49	stuvwxy	62
MQLM89-75	1.47	tuvwxyz	25
MQLM89-140	1.47	uvwxyzza	52
MQLM89-134	1.46	uvwxyzza	47
MQLM89-52	1.45	vwxzyab	20
MQLM89-113	1.45	vwxzyab	38
MQLM89-163	1.45	vwxzyab	61
MQLM89-114	1.44	wxyzab	39
MQLM89-175	1.43	wxyzab	63
MQLM89-89	1.42	xyzab	31
MQLM89-155	1.42	yzab	60
MQLM89-122	1.41	yzabc	42
MQLM89-69	1.39	zabc	24
MQLM89-139	1.39	zabc	51
MQLM89-13	1.38	zabc	6

Material Genético	% Nitrógeno en inflorescencia	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-56	1.38	abc	21
MQLM89-120	1.36	bcd	40
MQLM89-149	1.32	cde	55
MQLM89-48	1.28	def	17
MQLM89-131	1.27	def	46
MQLM89-154	1.27	def	59
MQLM89-86	1.26	ef	30
MQLM89-50	1.22	fg	19
MQLM89-109	1.16	g	34

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 1.677. C.V.= 3.2 %

4.3.3 PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN GRANO

En el Cuadro N° 17 se presenta el valor medio del porcentaje de nitrógeno en grano de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 1.69 a 2.35 por ciento. El mayor contenido de nitrógeno en grano se encontró en la línea mutante MQLM89-42 y el menor valor en la línea MQLM89-149; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 1.97 por ciento es diferente de las líneas de mayor y menor valor. El porcentaje de nitrógeno en grano promedio del experimento fue igual a 2.09 por ciento y 32 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 1.6 por ciento.

Fonseca (1985) en ensayo para quinua variedad Blanca de Junín, encontró para fuentes de N que las mejores fuentes son la úrea y el sulfato de amonio con 2.62 y 2.52 por ciento de nitrógeno en grano a los 135 días post-siembra. Este mismo autor, concluye que la quinua posee dos etapas de máxima absorción de N, al inicio del crecimiento vegetativo y en la etapa de formación del grano, y que existe una continua disminución de contenido de N en hojas, tallos y envolturas florales a medida que la planta madura, lo que indican una translocación del N de estas partes al grano.

En ensayo para quinua al Sur de Alemania, el porcentaje de nitrógeno en grano obtenido fue 2.06, 2.18 y 2.34 por ciento para 0,80 y 120 kg N/ha aplicados (Schulte auf'm Erley *et al*, 2005).

Miranda *et al* (2012), evaluó el rendimiento y acumulación de nitrógeno en quinua producida con estiércol en el Altiplano Sur y Central de Bolivia, donde la máxima productividad de granos fue de 298 kg/ha, obtenida con la aplicación de 12 tn/ha de estiércol pese a las condiciones climáticas adversas. El porcentaje de nitrógeno en grano fue de 1.63 por ciento y 4.87 kg nitrógeno/ha.

En el estudio del efecto del tipo de suelo y la absorción de nitrógeno en quinua, se tuvo mayor rendimiento de semilla en el suelo franco arcillo arenoso (3.3 Mg/ha) con un porcentaje de nitrógeno en semilla de 2.43, en el suelo franco arenoso (3.0 Mg/ha) con un porcentaje de nitrógeno en semilla de 2.35 y en la arena (2.3 Mg/ha) con un porcentaje de nitrógeno en semilla de 2.23 (Razzaghi, 2012).

Cuadro N° 17. Medias del porcentaje de nitrógeno en grano de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	% Nitrógeno en grano	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-42	2.35	a	15
MQLM89-31	2.32	ab	9
MQLM89-43	2.29	bc	16
MQLM89-175	2.29	bc	63
MQLM89-109	2.28	bcd	34
MQLM89-32	2.27	bcde	10
MQLM89-154	2.26	cdef	59
MQLM89-33	2.23	defg	11
MQLM89-56	2.22	efg	21
MQLM89-41	2.22	efg	14
MQLM89-85	2.22	fgh	29

Material Genético	% Nitrógeno en grano	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-113	2.20	ghi	38
MQLM89-77	2.19	ghij	26
MQLM89-13	2.18	ghijk	6
MQLM89-48	2.17	hijkl	17
MQLM89-9	2.17	hijkl	3
MQLM89-179	2.16	ijkl	64
MQLM89-66	2.16	ijkl	23
MQLM89-110	2.15	ijkl	35
MQLM89-111	2.15	jklm	36
MQLM89-36	2.14	klm	13
MQLM89-152	2.14	klm	57
MQLM89-114	2.14	klm	39
MQLM89-35	2.12	lmn	12
MQLM89-145	2.12	lmn	53
MQLM89-136	2.12	lmn	49
MQLM89-92	2.12	lmn	32
MQLM89-134	2.11	lmno	47
MQLM89-164	2.11	lmnop	62
MQLM89-112	2.11	lmnop	37
MQLM89-12	2.09	mnopq	5
MQLM89-4	2.09	mnopq	1
MQLM89-89	2.08	nopqr	31
MQLM89-163	2.07	nopqrs	61

Material Genético	% Nitrógeno en grano	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-153	2.06	opqrst	58
MQLM89-15	2.06	opqrst	8
MQLM89-50	2.06	pqrst	19
MQLM89-121	2.06	qrst	41
MQLM89-120	2.05	qrst	40
MQLM89-49	2.04	qrst	18
MQLM89-135	2.04	rstu	48
MQLM89-146	2.03	rstu	54
MQLM89-124	2.03	rstu	44
MQLM89-8	2.03	rstu	2
MQLM89-150	2.02	rstuv	56
MQLM89-69	2.02	stuvw	24
MQLM89-52	2.02	stuvw	20
MQLM89-94	2.02	stuvw	33
MQLM89-140	2.02	tuvw	52
MQLM89-122	1.99	uvwxx	42
MQLM89-14	1.99	uvwxx	7
MQLM89-83	1.99	uvwxx	28
MQLM89-155	1.98	vwx	60
MQLM89-82	1.97	vwx	27
MQLM89-139	1.97	vwx	51
MQLM89-123	1.97	vwx	43
QLM89-10	1.97	wx	4

Material Genético	% Nitrógeno en grano	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-127	1.96	xy	45
MQLM89-137	1.94	xy	50
MQLM89-86	1.91	yz	30
MQLM89-131	1.89	z	46
MQLM89-75	1.82	a	25
MQLM89-59	1.73	b	22
MQLM89-149	1.69	b	55

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 2.085. C.V.= 1.6 %

4.4 PARÁMETROS DE EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE NITROGENADO

4.4.1 EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO (EUN)

En el Cuadro N° 18 se presenta el valor medio de la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 18.63 a 53.06 por ciento. El mayor valor de EUN se encontró en la línea mutante MQLM89-149 y el menor valor en la línea MQLM89-59; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 17.41 por ciento es diferente de la selección positiva del 20 por ciento superior del total de materiales evaluados. El EUN promedio del experimento fue igual a 37.68 por ciento y 36 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 5.0 por ciento.

En el caso de cereales, la eficiencia de utilización del N ha sido estimada en el orden del 33 % a nivel mundial. Esta estimación se realizó teniendo en cuenta la producción mundial de cereales, la concentración de N en los granos, el consumo de fertilizantes y suponiendo que el suelo y la atmósfera aportan un 50 % del N total removido (Raun y Johnson, 1999).

Halvorson (2004), en estudio para trigo de invierno, encontró que la eficiencia de uso de nitrógeno varió con la dosis de N y el año, con un promedio de 86, 69, 56, y 46 por ciento para el 28, 56, 84 y 112 kg N /ha; respectivamente.

En un experimento con genotipos de trigo, bajo una baja y alta fertilización nitrogenada se tuvo para la eficiencia de uso de nitrógeno valores promedio de 28.6 (rango 18.2 a 38.1 kg grano/kg N disponible) y 67.0 (rango 40.7 a 100.7 kg grano/kg N disponible), respectivamente (Gaju *et al.*, 2011).

El rango de EUN del presente experimento, en el que se usó una baja fertilización nitrogenada; es similar a los valores informados en trigo.

Cuadro N° 18. Medias de la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	EUN (%)	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-149	53.06	a	55
MQLM89-134	52.95	a	47
MQLM89-14	52.52	a	7
MQLM89-109	52.33	a	34
MQLM89-152	51.53	ab	57
MQLM89-82	51.31	abc	27
MQLM89-131	49.09	bcd	46
MQLM89-146	48.86	bcd	54
MQLM89-92	48.69	cd	32
MQLM89-153	48.20	d	58
MQLM89-112	47.49	de	37
MQLM89-150	47.38	de	56
MQLM89-113	47.05	def	38
MQLM89-41	44.99	efg	14
MQLM89-52	44.28	fgh	20
MQLM89-164	43.92	ghi	62

	EUN	Prueba de	Parcela
Material Genético	(%)	LSD	Tratamiento
MQLM89-163	43.58	ghij	61
MQLM89-114	43.46	ghijk	39
MQLM89-13	43.38	ghijkl	6
MQLM89-94	43.24	ghijkl	33
MQLM89-48	42.95	ghijklm	17
MQLM89-89	42.91	ghijklm	31
MQLM89-155	42.39	ghijklmn	60
MQLM89-12	42.33	ghijklmn	5
MQLM89-137	42.17	hijklmn	50
MQLM89-135	41.68	hijklmno	48
MQLM89-56	41.18	ijklmnop	21
MQLM89-175	40.93	ijklmnop	63
MQLM89-124	40.69	klmnopq	44
MQLM89-154	40.55	lmnopq	59
MQLM89-4	40.30	mnopq	1
MQLM89-179	40.03	nopqr	64
MQLM89-75	38.80	opqrs	25
MQLM89-69	38.37	pqrs	24
MQLM89-127	37.99	qrst	45
MQLM89-77	37.91	qrst	26
MQLM89-33	37.29	rstu	11
MQLM89-9	37.08	stu	3
MQLM89-120	37.03	stuv	40

	EUN	Prueba de	Parcela
Material Genético	(%)	LSD	Tratamiento
MQLM89-136	36.91	stuv	49
MQLM89-111	36.31	stuv	36
MQLM89-145	35.27	tuvw	53
MQLM89-66	34.95	uvwxy	23
MQLM89-42	34.23	vwxy	15
MQLM89-110	32.73	wxyz	35
MQLM89-83	32.08	xyz	28
MQLM89-86	31.91	yz	30
MQLM89-122	31.36	za	42
MQLM89-15	30.57	zab	8
MQLM89-85	30.39	z abc	29
MQLM89-139	28.99	abcd	51
MQLM89-31	28.90	abcd	9
MQLM89-121	27.80	bcde	41
MQLM89-43	27.59	cde	16
MQLM89-50	27.17	de	19
MQLM89-140	25.06	ef	52
MQLM89-123	22.51	fg	43
MQLM89-49	21.19	gh	18
MQLM89-36	21.13	gh	13
MQLM89-32	20.04	ghi	10
MQLM89-8	19.20	hi	2
MQLM89-35	19.05	hi	12

	EUN	Prueba de	Parcela
Material Genético	(%)	LSD	Tratamiento
MQLM89-59	18.63	hi	22
QLM89-10	17.41	i	4

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 37.678. C.V. = 5.0 %

4.4.2 EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE USO DE NITRÓGENO (EFN)

En la Cuadro N° 19 se presenta el valor medio de la eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno (EFN) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 11.32 a 64.29 kg de aumento en la producción por kg de aumento en la absorción de N. El mayor valor de EFN se encontró en la línea mutante MQLM89-149 y el menor valor en la línea MQLM89-8; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de -0.011 kg de aumento del grano/kg de aumento en la absorción de N es diferente de la selección positiva del 20 por ciento superior del total de materiales evaluados. La eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno promedio del experimento fue igual a 43.55 kg/kg de aumento en la absorción de N y 40 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 32.2 por ciento.

La eficiencia fisiológica del N, depende de las características de la especie-genotipo y la disponibilidad de N. Si bien es un valor que fluctúa en un amplio rango, la eficiencia fisiológica media para maíz está alrededor de 40 kg de grano por kg de N absorbido en toda la planta, y para el trigo está alrededor de 30 kg de grano/kg de aumento en la absorción de N. Los coeficientes de requerimientos de N que se utilizan en los modelos de balance son la inversa de esta eficiencia, lo que da para maíz unos 20 a 25 kg de N/t de grano y para trigo unos 30 a 35 kg N/t grano (Quintero y Boschetti, 2009).

Tomassini (1993), en experimentos realizados en el departamento de Junín para el cultivo de papa obtuvo con 160 kg N/ha de úrea, superioridad relativa sobre otras fuentes y niveles probados en la medición de la eficiencia fisiológica, agronómica y de utilización. También los coeficientes aparentes de uso, obtuvieron altos valores para nitrato de amonio y úrea a las dosis de 80 y 160 kg N/ha; a 240 kg N/ha esta superioridad no aparece.

Berti *et al*, (1995) en estudios para la quinua, con los genotipos UDEC-10 y FARO con diferentes dosis de fertilización nitrogenada obtuvo como resultado una mayor eficiencia fisiológica del nitrógeno (EFN) para las dosis de 75 y 150 kg N/ha, con 37.65 y 35.23 kg de semilla producida por kilo de N absorbido, respectivamente, siendo

notoriamente diferente con la dosis de 225 kg N/ha, la que alcanzó 20.08 kg semilla/Kg de N absorbido. Estos valores son menores que los informados para trigo (Rouanet, 1994 citado por Berti *et al*, (1995), pero se observó la misma tendencia, concluyéndose que la eficiencia fisiológica disminuye al aumentar la dosis de N.

López-Bellido (2001), en un experimento en trigo evaluó la eficiencia fisiológica de N encontrando un valor promedio de 21.7 kg de semilla/kg de N absorbido, con un mayor valor de 23.1 kg/kg (50 kg N/ha) y un menor valor de 20.6 kg/kg (100 kg N/ha).

Se puede apreciar en este experimento el valor promedio fue de 43.55 kg de grano/kg de aumento en la absorción de N, valor similar a los informados para maíz.

Cuadro N° 19. Medias de la eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno (EFN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

	EFN (kg grano/ kg de aumento en la absorción de N)	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-149	64.29	a	55
MQLM89-75	59.28	ab	25
MQLM89-131	54.37	abc	46
MQLM89-86	54.11	abc	30
MQLM89-137	52.05	abc	50
MQLM89-127	51.21	abc	45
MQLM89-139	50.83	abc	51
MQLM89-82	50.51	abc	27
MQLM89-155	50.43	abc	60
MQLM89-14	50.24	abc	7
MQLM89-122	50.03	abc	42
MQLM89-83	49.88	abc	28
MQLM89-123	49.72	abc	43

	EFN (kg grano/ kg de aumento en la absorción de N)	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-69	48.78	abcd	24
MQLM89-52	48.77	abcd	20
MQLM89-150	48.71	abcd	56
MQLM89-94	48.67	abcd	33
MQLM89-146	48.31	abcd	54
MQLM89-124	48.24	abcd	44
MQLM89-135	47.98	abcd	48
MQLM89-120	47.39	abcd	40
MQLM89-153	47.31	abcd	58
MQLM89-140	47.09	abcd	52
MQLM89-163	46.71	abcd	61
MQLM89-89	46.61	abcd	31
MQLM89-121	46.49	abcd	41
MQLM89-15	45.92	abcd	8
MQLM89-134	45.89	abcd	47
MQLM89-12	45.81	abcd	5
MQLM89-4	45.76	abcd	1
MQLM89-112	45.52	abcde	37
MQLM89-92	45.49	abcde	32
MQLM89-164	45.28	abcdef	62
MQLM89-50	45.09	abcdef	19
MQLM89-152	44.99	abcdef	57
MQLM89-136	44.49	abcdef	49

	EFN (kg grano/ kg de aumento en la absorción de N)	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-49	44.36	abcdef	18
MQLM89-114	44.34	abcdef	39
MQLM89-145	44.09	abcdef	53
MQLM89-48	43.63	abcdef	17
MQLM89-179	43.33	abcdef	64
MQLM89-13	43.28	abcdef	6
MQLM89-111	43.15	abcdef	36
MQLM89-9	42.76	abcdef	3
MQLM89-66	42.59	abcdef	23
MQLM89-113	42.57	abcdef	38
MQLM89-110	42.25	abcdef	35
MQLM89-41	41.98	abcdef	14
MQLM89-77	41.90	abcdef	26
MQLM89-56	41.85	abcdef	21
MQLM89-109	41.05	bcdef	34
MQLM89-33	40.61	bcdef	11
MQLM89-154	40.35	bcdef	59
MQLM89-175	39.64	bcdef	63
MQLM89-85	39.34	bcdef	29
MQLM89-42	36.45	cdef	15
MQLM89-43	34.79	cdef	16
MQLM89-31	34.72	cdef	9
MQLM89-36	32.22	cdefg	13

	EFN (kg grano/ kg de aumento en la absorción de N)	Prueba de	Parcela
Material Genético		LSD	Tratamiento
MQLM89-59	26.78	defg	22
MQLM89-32	22.99	efg	10
MQLM89-35	22.69	fg	12
MQLM89-8	11.32	gh	2
QLM89-10	-0.01	h	4

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 43.551. C.V. = 32.2 %

4.4.3 EFICIENCIA AGRONÓMICA DE USO DE NITRÓGENO (EAN)

En la Cuadro N° 20 se presenta el valor medio de la eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAN) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 1.21 a 35.64 kg grano/kg de N aplicado. El mayor valor de EAN se encontró en la línea mutante MQLM89-149 y el menor valor en la línea MQLM89-59; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de -0.01 kg de grano/kg de N aplicado es diferente de la selección positiva del 20% superior del total de materiales evaluados. La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno promedio del experimento fue igual a 20.26 kg de grano /kg de N aplicado y 36 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 9.2%.

La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno, es un parámetro que representa la capacidad de la planta para aumentar el rendimiento en respuesta del N aplicado (Novoa y Loomis, 1981; Craswell y Godwin, 1984 citado por Tomassini, 1993). La eficiencia agronómica se expresa en kg de grano producidos por kg de N aplicado como fertilizante. Este valor depende de la eficiencia fisiológica del híbrido o cultivar, de la proporción del N disponible que es absorbido por el cultivo y de las pérdidas que ocurran durante el ciclo. Por lo tanto la eficiencia agronómica varía entre un máximo igual a la eficiencia fisiológica y cero, a medida que la absorción de N se ve limitada por otro factor como la disponibilidad de agua o se incrementan las pérdidas (Quintero y Boschetti, 2009).

Berti *et al*, (1995) en estudios para la quinua, con los genotipos UDEC-10 y FARO y diferentes dosis de fertilización nitrogenada, encontraron que la eficiencia agronómica (EAN) disminuyó a medida que la fertilización aumentó, obteniéndose una mayor EAN

con la menor dosis (75 kg/ha). Álvarez y Von Rutte (1990) citados por Berti *et al* (1995) señalan para quinua, valores de EAN que fluctúan entre 1.3 y 5.2 kg de semilla producida por cada kilo de N aplicado, indicándolo como una respuesta pobre a este tipo de fertilización, coincidiendo con lo informado para trigo, en que en las diferentes variedades de trigo utilizadas, la EAN fue disminuyendo a medida que la fertilización nitrogenada aumentó (Alcoz *et al.*, 1993; Álvarez y Von Rutte, 1990; Gauer *et al.*, 1992; citados por Berti *et al*, 1995).

Delogu *et al.* (1998) estudió en cebada y trigo la EAN hallando un valor promedio de 8.7 y 9.2 kg de semilla/kg de N aplicado, respectivamente, lo que sugiere que ambas especies responden igualmente a la fertilización de nitrógeno.

López-Bellido (2001), en un experimento con trigo, evaluó la EAN obteniendo un valor promedio de 6.2 kg de semilla/kg de N aplicado; el valor más alto de 7.2 kg/kg (50 kg N/ha) y el valor más bajo de 4.9 kg/kg (150 kg N/ha).

Díaz *et al.* (2004) en un estudio con amaranto, encontró que al elevar la densidad de plantas, el valor de la eficiencia agronómica aumentó, así que para una dosis de 100 kg N/ha y una densidad de 33.3 plantas/m² el mayor valor fue de 9.2 kg de semilla/kg de N aplicado.

Montemurro *et al.* (2006), en maíz y cebada, analizó la EAN obteniendo los valores más altos de 7.2 kg de semilla/kg de N aplicado (100 kg N/ha mineral) en maíz y 6.3 kg de semilla/kg de N aplicado (100 kg N/ha mineral) en cebada, asimismo el valor más bajo fue de 1.0 kg de semilla/kg de N aplicado (100 kg N/ha de compost de orujo de oliva) para ambos cultivos.

Cui *et al* (2008) evaluó la eficiencia agronómica de uso de N en trigo teniendo valores de 11 kg de grano/kg de N aplicado con 128 kg N/ha y 3 kg de grano/kg de N aplicado con 325 kg N/ha.

Jin *et al.* (2012) en maíz, obtuvieron valores de EAN de 39.75 kg grano/kg de N aplicado con 129 kg N/ha y 18.31 kg/kg con 300 kg N/ha.

Peng *et al* (2010) citado por Sui *et al* (2013) informó de que hubo una relación negativa entre la eficiencia agronómica de uso de N y la tasa total de aplicación de N. En su estudio, cuando la tasa total de N aplicado fue mayor de 300 kg/ha, la eficiencia del uso agronómico N fue inferior a 10 kg/kg de N aplicado.

Sui *et al.* (2013) en un experimento en arroz, evaluó la EAN obteniendo valores de 4.9 a 6 kg de grano/kg de N aplicado con 291 kg N/ha; 11.3 a 14.3 kg de grano/kg de N aplicado con 180 kg N/ha; 9.1 a 10.6 kg de grano/kg de N aplicado con 240 kg N/ha y 7.7 a 10.1 kg/kg con 300 kg N/ha para 2 años: 2009 y 2010 de evaluación. En base a sus

resultados, sugiere que una reducción de la proporción de aplicación de N en la fase vegetativa temprana y una mejora de la aplicación de la proporción de N en etapas de crecimiento reproductivo posteriores; tenían beneficio para el rendimiento de grano y la eficiencia del N.

Cuadro N° 20. Medias de la eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	EAN (kg grano/kg de N aplicado)	Prueba de	Parcela
		LSD	Tratamiento
MQLM89-149	35.64	a	55
MQLM89-134	35.54	a	47
MQLM89-14	35.11	a	7
MQLM89-109	34.91	a	30
MQLM89-152	34.12	ab	57
MQLM89-82	33.89	abc	27
MQLM89-131	31.68	bcd	46
MQLM89-146	31.45	bcd	54
MQLM89-92	31.27	cd	32
MQLM89-153	30.79	d	58
MQLM89-112	30.08	de	37
MQLM89-150	29.96	de	56
MQLM89-113	29.63	def	38
MQLM89-41	27.57	efg	14
MQLM89-52	26.86	fgh	20
MQLM89-164	26.51	ghi	62
MQLM89-163	26.16	ghij	61

Material Genético	EAN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N aplicado)	LSD	Tratamiento
MQLM89-114	26.04	ghijk	39
MQLM89-13	25.97	ghijkl	6
MQLM89-94	25.83	ghijkl	33
MQLM89-48	25.53	ghijklm	17
MQLM89-89	25.49	ghijklm	31
MQLM89-155	24.98	ghijklmn	60
MQLM89-12	24.91	ghijklmn	5
MQLM89-137	24.75	hijklmn	50
MQLM89-135	24.26	hijklmno	48
MQLM89-56	23.77	ijklmnop	21
MQLM89-175	23.52	jklmnop	63
MQLM89-124	23.29	klmnopq	44
MQLM89-154	23.14	lmnopq	59
MQLM89-4	22.89	mnopq	1
MQLM89-179	22.62	nopqr	64
MQLM89-75	21.38	opqrs	25
MQLM89-69	20.95	pqrs	24
MQLM89-127	20.58	qrst	45
MQLM89-77	20.49	qrst	26
MQLM89-33	19.88	rstu	11
MQLM89-9	19.66	stu	3
MQLM89-120	19.62	stuv	40
MQLM89-136	19.49	stuv	49

Material Genético	EAN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N aplicado)	LSD	Tratamiento
MQLM89-111	18.89	stuv	36
MQLM89-145	17.86	tuvw	53
MQLM89-66	17.53	uvwx	23
MQLM89-42	16.81	vwxy	15
MQLM89-110	15.31	wxyz	35
MQLM89-83	14.66	xyz	28
MQLM89-86	14.49	yz	30
MQLM89-122	13.94	za	42
MQLM89-15	13.16	zab	8
MQLM89-85	12.97	zabc	29
MQLM89-139	11.58	abcd	51
MQLM89-31	11.49	abcd	9
MQLM89-121	10.38	bcde	41
MQLM89-43	10.17	cde	16
MQLM89-50	9.76	de	19
MQLM89-140	7.64	ef	52
MQLM89-123	5.09	fg	43
MQLM89-49	3.78	gh	18
MQLM89-36	3.71	gh	13
MQLM89-32	2.63	ghi	10
MQLM89-8	1.79	hi	2
MQLM89-35	1.63	hi	12
MQLM89-59	1.21	hi	22

Material Genético	EAN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N aplicado)	LSD	Tratamiento
QLM89-10	-0.01	i	4

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 20.260. C.V.= 9.2 %

4.4.4 EFICIENCIA INTERNA DE UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO (EIN)

En el Cuadro N° 21 se presenta el valor medio de la eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de 42.55 a 59.01 kg de producción/kg de N absorbido. El mayor valor de EIN se encontró en la línea mutante MQLM89-149 y el menor valor en la línea MQLM89-42; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación con un valor de 50.81 kg de producción/kg de N absorbido es diferente de las líneas de mayor y menor valor. La eficiencia interna de utilización de nitrógeno promedio del experimento fue igual a 48.17 kg de producción/kg de N absorbido y 32 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 1.6 por ciento. La eficiencia interna de utilización de nitrógeno refleja la capacidad de la planta para traducir el N en rendimiento económico (granos).

Gamarra (1984) en estudio de cultivares de maíz encontró el valor más alto de 41.46 kg/kg de N absorbido de EIN para el cultivar PM-701 y el menor valor de 33.16 kg/kg de N absorbido para PMC-5.

Delogu *et al.* (1998) comparando los valores obtenidos en dos cereales, encontró que la cebada superó al trigo. En cebada el EIN fue de 58kg/kg (testigo), 48 kg/kg (80 kg N/ha) y 39 kg de producción/kg de N absorbido (140 kg N/ha) y en trigo fue 44 kg/kg (testigo), 36 kg/kg (140 kg N/ha) y 31 kg de producción/kg de N absorbido (210 kg N/ha), en ambos casos el EIN disminuyó a medida que la dosis de N aumentó.

La eficiencia de utilización de nitrógeno encontrada fue: para maíz de 32-59 kg/kg; (Moll *et al.*, 1982), para trigo de 20-49 kg/kg (Dhugga y Waines, 1989; Ortiz-Monasterio *et al.* 1997) y para cebada de 39-58 kg de producción/kg de N absorbido (Delogu *et al.*, 1998) autores citados por Schulte auf'm Erley *et al.*, (2005).

Schulte auf'm Erley *et al.* (2005) evaluó la EIN para amaranto encontrando que esta varió desde 13.9 hasta 15.4 kg de producción/kg de N absorbido y disminuyó al aumentar la dosis de N, todo lo contrario para quinua que obtuvo un valor promedio de 22.2 kg de producción/kg de N absorbido (varió desde 21.7 hasta 23 kg/kg) y no disminuyó con el aumento de la dosis de N (0, 80 y 120 kg N/ha empleados), asimismo

para trigo sarraceno se obtuvo valores desde 16.1 hasta 20 kg de producción/kg de N absorbido.

Montemurro *et al.*, (2006) en un experimento en maíz y cebada con diferentes fuentes y dosis de fertilización, evaluaron la eficiencia interna de utilización de nitrógeno, los valores medios alcanzaron niveles bajos en ambos cultivos (34,6 y 25,7 kg de producción/kg de N absorbido para el maíz y la cebada, respectivamente). La EIN fue significativamente diferente sólo en el maíz entre el tratamiento control y tratamientos de fertilización con N; 32.9, 32.6, 33.6, 34.7 y 39.4 kg de producción/kg de N absorbido para 200 kg N mineral, 200 kg N orgánico-mineral, 100 kg N mineral, 100 kg N orgánico-mineral y control; respectivamente.

Razzaghi *et al.*, (2012) evaluó la eficiencia interna de utilización en quinua, en diferentes tipos de suelo teniendo valores de 45, 42 y 41 kg de producción/kg de N absorbido para tipos de suelo arena, franco arenoso y franco arcillo arenoso, respectivamente. Del mismo modo, concluye que la absorción de nitrógeno refleja la influencia de las propiedades texturales de los suelos en la mineralización del N y crecimiento de las raíces, al igual menciona que la profundidad de las raíces es importante, ya que en suelo profundo, el N puede ser absorbido por difusión, lo que puede constituir parte de la absorción total (Kuhlmann *et al.*, 1989; Kristensen y Thorup-Kristensen, 2004 citados por Razzaghi, 2012).

Gaju *et al.*, (2011) en un estudio para trigo determinó la EIN con valores promedio de 34.0 y 52.1 para una alta y baja fertilización nitrogenada, respectivamente.

Jin *et al.* (2012) en maíz al norte de China estudiando el EIN obtuvo el valor más alto de 49.50 kg/kg (184 kg N/ha) y el más bajo de 38.95 kg de producción/kg de N absorbido (sin fertilizar) en un mismo año.

Cuadro N° 21. Medias de la eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	EIN (kg grano/kg de N absorbido)	Prueba de	Parcela
		LSD	Tratamiento
MQLM89-149	59.01	a	55
MQLM89-134	57.86	a	47
MQLM89-75	54.97	b	25

Material Genético	EIN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N absorbido)	LSD	Tratamiento
MQLM89-131	53.01	c	46
MQLM89-86	52.26	cd	30
MQLM89-137	51.48	de	50
MQLM89-127	51.02	e	45
QLM89-10	50.81	ef	4
MQLM89-123	50.72	efg	43
MQLM89-139	50.69	efgh	51
MQLM89-82	50.66	efgh	27
MQLM89-155	50.61	efghi	60
MQLM89-83	50.33	efghij	28
MQLM89-14	50.33	efghij	7
MQLM89-122	50.32	efghijk	42
MQLM89-140	49.57	fghijkl	52
MQLM89-94	49.51	ghijkl	33
MQLM89-69	49.50	ghijklm	24
MQLM89-52	49.48	hijklm	20
MQLM89-150	49.41	ijklm	56
MQLM89-8	49.28	jklmn	2
MQLM89-124	49.18	jklmn	44
MQLM89-146	49.15	jklmn	54
MQLM89-135	49.08	klmn	48
MQLM89-49	48.97	lmno	18
MQLM89-120	48.82	lmnop	40

Material Genético	EIN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N absorbido)	LSD	Tratamiento
MQLM89-121	48.67	lmnop	41
MQLM89-50	48.58	lmnopq	19
MQLM89-15	48.55	lmnopqr	8
MQLM89-153	48.49	lmnopqr	58
MQLM89-163	48.27	mnopqrs	61
MQLM89-89	48.19	nopqrs	31
MQLM89-4	47.75	opqrst	1
MQLM89-12	47.72	pqrst	5
MQLM89-164	47.34	qrstu	62
MQLM89-112	47.34	rstu	37
MQLM89-59	47.33	rstu	47
MQLM89-136	47.25	stu	49
MQLM89-92	47.25	stu	32
MQLM89-145	47.09	stuv	53
MQLM89-35	47.09	stuv	12
MQLM89-114	46.75	tuv	39
MQLM89-152	46.73	tuvw	57
MQLM89-36	46.66	tuvw	13
MQLM89-111	46.61	tuvw	36
MQLM89-110	46.48	uvwxy	35
MQLM89-66	46.27	uvwxy	23
MQLM89-179	46.24	uvwxy	64
MQLM89-9	46.21	vwxyz	3

Material Genético	EIN	Prueba de	Parcela
	(kg grano/kg de N absorbido)	LSD	Tratamiento
MQLM89-48	46.20	uvwxyz	17
MQLM89-13	45.92	vwxyza	6
MQLM89-77	45.51	vwxyzab	26
MQLM89-113	45.37	xyzab	38
MQLM89-85	45.13	yzabc	29
MQLM89-56	45.00	z abcd	21
MQLM89-41	44.99	z abcd	14
MQLM89-33	44.87	abcde	11
MQLM89-154	44.29	bcdef	59
MQLM89-32	44.04	cdef	10
MQLM89-109	43.90	def	34
MQLM89-175	43.67	efg	63
MQLM89-43	43.62	fg	16
MQLM89-31	43.07	fg	9
MQLM89-42	42.55	g	15

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 48.173. C.V.= 1.6 %

4.4.5 EFICIENCIA APARENTE DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO (ERN)

En el Cuadro N° 22 se presenta el valor medio de la eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN) de 63 líneas mutantes de quinua y un testigo de comparación. Este valor varía de -2.0 a 84.8 por ciento. El mayor valor de ERN se encontró en la línea mutante MQLM89-109 y el menor valor en la línea MQLM89-59; respectivamente. Entre estos valores existen diferencias significativas. El testigo de comparación obtuvo un valor de cero por ciento. La eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno promedio del experimento fue igual a 44.2 por ciento y 36 líneas presentaron valores superiores al promedio. El coeficiente de variación fue de 9.8 por ciento.

La eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno, indica la capacidad de aumentar la absorción de N en respuesta al N aplicado.

Fonseca (1985) en ensayo para quinua variedad Blanca de Junín, obtuvo que la mayor recuperación de nitrógeno se logró con el tratamiento 80-80-0 que utilizó como fuente de N a la urea (24.85%), seguida del sulfato de amonio (20.08%). Por otro lado la recuperación de N en ausencia de fertilización fosforada procedente del sulfato de amonio fue casi nulo con 1.7% y para la urea fue de 12.96%, comprobando la interacción positiva que hay entre el nitrógeno y el fósforo, en el cual el fósforo incrementa la recuperación de N de las fuentes amoniacales.

Delogu *et al.*, (1998) evaluó la ERN en cebada que varió de 51% (80 kg N/ha) a 63% (140 kg N/ha) y en trigo de 49% (140 kg N/ha) a 56% (210 kg N/ha).

Montemurro *et al.*, (2006) en un experimento con maíz y cebada, analizó la ERN, obteniendo los valores más altos de 94.4% (100 kg N/ha mineral) para maíz y 34.4%(200 kg N/ha mineral) para cebada, asimismo los valores más bajos de 53.1% para maíz y 1.8% para cebada a partir de 100 kg N/ha a partir de compost de orujo de oliva en ambos casos. El valor más alto registrado en maíz para ERN refleja el nivel de correlación con el rendimiento.

Cui *et al.*, (2008) estudiando la ERN en trigo bajo diferentes dosis de fertilización, la práctica del agricultor (325 kg N/ha) y la estrategia óptima de gestión (128 kg N/ha), obtuvo valores de 18% y 44%, respectivamente.

Boaretto (2007) señala que muchas investigaciones han demostrado que existe una gran variación entre los valores de recuperación del N aplicado como fertilizante en diferentes cultivos. Esto se debe a la variabilidad de manejo y a las condiciones como dosis, época de aplicación y clima donde fueron obtenidos (Boaretto, 2007).

Sui *et al.*, (2013) evaluó para arroz la ERN obteniendo valores de 27 a 28.5%, 42.5 a 37.4%, 38.2 a 40.6% y 28 a 29.6 % con una fertilización de 291, 180, 240 y 300 kg N/ha, respectivamente para 2 años consecutivos de estudio.

Treinta y cinco líneas mutantes de quinua, obtuvieron valores superiores al promedio en la eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN), esto puede explicarse debido al momento de fertilización de nitrógeno y riego posterior oportuno, asimismo valores más altos pueden tener relación a las líneas que presentaron con un sistema radicular extensivo, mayor capacidad de absorción. Cabe indicar que la urea es un fertilizante que al estar expuesto por mucho tiempo en la superficie del suelo, se pierde por volatilización.

Con el método utilizado en el cálculo de los diferentes tipos de eficiencia de uso de nitrógeno "método de la diferencia", los valores obtenidos son ligeramente mayores a los obtenidos con el uso de la técnica isotópica, de mayor precisión (Dobermann, 2005).

De acuerdo a diferentes estudios, se concluye que dosis crecientes de nitrógeno, permiten incrementar de manera gradual el rendimiento promedio de granos por panoja y el porcentaje de proteínas en granos; en la presente investigación la dosis fue la misma para todas las parcelas, por lo que los diferentes valores obtenidos de las fórmulas de eficiencia de uso de nitrógeno, demuestran que bajo las mismas condiciones de manejo y fertilización, la existencia de genotipos superiores. A mayor contenido de nitrógeno expresado en el porcentaje de N en grano superior al testigo, con altos rendimientos, pueden explicarse debido a la mayor absorción y uso más eficiente de nitrógeno, a una misma dosis de fertilización.

Valores superiores al "criterio del experto" para la eficiencia fisiológica (kg de aumento de la producción por kg de aumento en la absorción de N) e inferiores al "criterio del experto" para la eficiencia agronómica (incremento en el rendimiento económico por unidad de fertilizante aplicado), pueden explicarse debido a que éstas líneas obtuvieron rendimientos más bajos (inferiores a 3000 kg/ha), y a su vez obtienen los valores más bajos para la ERN (kg de aumento de la absorción de N por kg de N aplicado), explicándose en la menor absorción de nitrógeno.

Cuadro N° 22. Medias de la eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN) de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Material Genético	ERN (kg de aumento de la absorción de N /Kg de N aplicado)	ERN (%)	Prueba de LSD	Parcela Tratamiento
MQLM89-109	0.848	84.8	a	34
MQLM89-134	0.776	77.6	b	47
MQLM89-152	0.758	75.8	bc	57
MQLM89-14	0.702	70.2	cd	7
MQLM89-113	0.693	69.3	cd	38
MQLM89-92	0.685	68.5	cd	32
MQLM89-82	0.67	67	d	27
MQLM89-112	0.66	66	def	37
MQLM89-41	0.657	65.7	def	14

MQLM89-146	0.651	65.1	defg	54
MQLM89-153	0.65	65	defgh	58
MQLM89-150	0.614	61.4	efghi	56
MQLM89-13	0.603	60.3	efghij	6
MQLM89-175	0.597	59.7	efghij	63
MQLM89-114	0.586	58.6	ghijk	39
MQLM89-48	0.585	58.5	ghijk	17
MQLM89-131	0.584	58.4	hijk	46
MQLM89-164	0.583	58.3	hijk	62
MQLM89-56	0.576	57.6	ijk	21
MQLM89-154	0.572	57.2	ijkl	59
MQLM89-163	0.559	55.9	ijklm	61
MQLM89-149	0.556	55.6	ijklmn	55
MQLM89-52	0.552	55.2	ijklmno	20
MQLM89-89	0.549	54.9	ijklmno	31
MQLM89-12	0.545	54.5	jklmno	5
MQLM89-94	0.53	53	klmnop	33
MQLM89-179	0.522	52.2	klmnopq	64
MQLM89-135	0.505	50.5	lmnopq	48
MQLM89-4	0.499	49.9	mnopqr	1
MQLM89-155	0.495	49.5	mnopqrs	60
MQLM89-77	0.49	49	nopqrs	26
MQLM89-124	0.488	48.8	opqrs	44
MQLM89-33	0.487	48.7	opqrs	11
MQLM89-137	0.475	47.5	pqrst	50
MQLM89-42	0.463	46.3	qrstu	15
MQLM89-9	0.459	45.9	qrstu	3

MQLM89-136	0.436	43.6	rstu	49
MQLM89-111	0.435	43.5	rstu	36
MQLM89-69	0.431	43.1	stu	24
MQLM89-120	0.416	41.6	tuv	40
MQLM89-66	0.412	41.2	tuv	23
MQLM89-145	0.406	40.6	uv	53
MQLM89-127	0.403	40.3	uv	45
MQLM89-75	0.363	36.3	vw	25
MQLM89-110	0.36	36	vwx	35
MQLM89-85	0.332	33.2	wxy	29
MQLM89-31	0.324	32.4	wxy	9
MQLM89-83	0.295	29.5	xy	28
MQLM89-15	0.288	28.8	yz	8
MQLM89-43	0.287	28.7	yz	16
MQLM89-122	0.281	28.1	yza	42
MQLM89-86	0.268	26.8	yza	30
MQLM89-121	0.228	22.8	za	41
MQLM89-139	0.227	22.7	za	51
MQLM89-50	0.216	21.6	ab	19
MQLM89-140	0.16	16	bc	52
MQLM89-32	0.11	11	cd	10
MQLM89-36	0.107	10.7	cd	13
MQLM89-123	0.101	10.1	cd	43
MQLM89-49	0.09	9	d	18

MQLM89-35	0.061	6.1	de	12
MQLM89-8	0.048	4.8	de	2
QLM89-10	0	0	ef	4
MQLM89-59	-0.02	-2	f	22

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA de un factor, LSD, $p = 0.05$, $n = 3$). Media general = 44.2%. C.V.= 9.8 %

OBJETIVO 3: IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA VARIEDAD LA MOLINA 89 CON MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE NITRÓGENO.

Para cumplir con este objetivo se aplicó la fórmula de la distancia euclidiana; la cual ha sido ampliamente utilizado en muchos campos de la ciencia, como en el análisis y reconocimiento de patrones (Ichino 1988), la bioinformática (Tavazoie et al. 1999), control inteligente de sistemas (Jafar y Zilouchian 2001), la identificación espectral (Granahan y Sweet, 2001), y recuperación de la información (Kogan 2007) autores citados por Gómez *et al.*, (2009).

Los datos de cada carácter se estandarizaron para que variaran entre cero y uno, de acuerdo a Kantardzic (2003). En la información empleada para determinar los valores se emplearon 13 caracteres a los que se atribuyó un valor teórico establecidos en el programa de mejoramiento de quinua de la Universidad Agraria La Molina, que se presenta en el Cuadro N° 04, en el cuál se presentan los valores máximos para: días al 50% de la floración, días a la madurez, altura de planta, porcentaje del daño por mildiú y porcentaje de saponina, y los valores mínimos para: rendimiento, peso de mil granos, porcentaje de proteína, eficiencia de uso de nitrógeno, eficiencia fisiológica de nitrógeno, eficiencia agronómica de nitrógeno, eficiencia interna de utilización y eficiencia de recuperación de nitrógeno.

En el Cuadro N° 23 se presentan los valores promedios que presentó el testigo, para realizar las comparaciones respectivas.

Cuadro N° 23: Valores de caracteres agronómicos y de calidad de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del testigo QLM89, observados en la presente investigación.

Nombre	Rdto (kg/ha)	Días al 50% floración	Días a la madurez	Altura de planta (cm)	% Mildiú	Peso mil granos (g)	%Proteína	%Saponina
QLM89-10	1392.5	83.7	117.2	152.9	9.8	3.06	12.31	0.7

Nombre	EUN	EFN	EAN	EIN	ERN	%Nitrógeno en tallo	%Nitrógeno en inflorescencia	%Nitrógeno en grano
QLM89-10	17.41	0	0	50.81	0	0.33	1.76	1.97

Leyenda: Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EFN), eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAN), eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN), eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN).

Los valores de distancia euclidiana de las 63 líneas mutantes de quinua y el testigo, se presentan en el Anexo N° 02. De acuerdo a experimentos establecidos previamente los valores más bajos de distancia euclidiana permiten identificar a los genotipos con el mayor número de caracteres con valores cercanos a aquellos establecidos por el mejorador. En base a lo señalado se puede apreciar que son 13 líneas mutantes las cuales fueron identificadas como las mejores y representan aproximadamente el 20 por ciento de la población (Cuadro N° 24).

4.5 IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA SUPERIORES AL CRITERIO DEL EXPERTO

Selección por rendimiento y calidad

La línea mutante MQLM89-134 exhibió la menor distancia euclidiana al criterio del experto (1.44) y es la que exhibe uno de los rendimientos más alto (4236.2 kg/ha). Asimismo, es precoz con 62 días a la floración y 93 días a la madurez. Presentó un porcentaje de daño por mildiú de 16.6% (criterio del experto: menor 15%) y altos valores de peso de mil granos (3.43 g.) y proteína con 13.2 %. Es una planta de porte alto con 140.5 cm de altura y de grano amargo (0.74 % de saponina).

Las líneas mutantes MQLM89-152 y MQLM89-12 fueron identificadas entre las mejores y presentan el mayor número de caracteres deseables (once de trece). El carácter no deseable es que son plantas altas, 151.7 y 154.7 cm, respectivamente, lo que podría dificultar las labores de cosecha en condiciones de costa y su eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN) es cercana pero inferior al "criterio del experto" (mayor a 48.17 kg/kg).

Asimismo, se observa que las líneas seleccionadas con rendimientos superiores a los 4000 kg/ha, son plantas de porte alto (mayor a 140 cm) y con alto contenido de saponina (mayor a 0.71 %). La línea MQLM89-149 de mayor rendimiento (4245.1 kg/ha), superando en un 204.85 % al testigo, presenta bajo peso de mil granos (2.69 g), menor porcentaje de proteína (10.59 %), alto contenido de saponina (1.03 %, amarga) y mayor altura de planta (158.2 cm), comparados al testigo.

Selección por precocidad y rendimiento:

Las líneas MQLM89-134, MQLM89-13, MQLM89-12 y MQLM89-109, destacan por precocidad, obteniendo valores de 93, 93, 95 y 94 días a la madurez, respectivamente, a su vez obtienen rendimientos óptimos superiores a los 3000 kg/ha y porcentaje de proteína mayor a 13 por ciento.

Para días al 50% de floración, se obtuvo 36 líneas mutantes con valores promedios muy cercanos al "criterio del experto" (menor a 70 días), todas presentaron valores inferiores al testigo (83.7 días). Asimismo, se encontró la línea MQLM89-13 como uno de los materiales más sobresalientes en precocidad (días a la floración: 61 y días a la madurez: 93), destacando por ser de grano semidulce (contenido de saponina de 0.44 %); asimismo se aprecia una mejora para los demás caracteres agronómicos y de calidad evaluados, superiores al testigo. Igualmente, alcanzó valores superiores al "criterio del experto" para la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) con 43.38 %, eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) con 25.97 kg/kg (incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado) y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN) con 60.3 %. Sin embargo se obtuvo una eficiencia fisiológica de nitrógeno (43.28 kg/kg) y eficiencia interna de utilización (45.92 kg/kg) por debajo del valor esperado.

Selección por contenido de saponina:

Las líneas mutantes, de grano semidulce son MQLM89-92, MQLM89-13, MQLM89-12, MQLM89-155, MQLM89-145 y MQLM89-77, éstas obtuvieron un porcentaje de saponina de 0.55, 0.44, 0.42, 0.44, 0.39 y 0.48, respectivamente. Sin embargo, la línea MQLM89-155 obtuvo un porcentaje de proteína de 12.34 %; la línea MQLM89-145 un rendimiento de 2821.9 kg/ha y la línea MQLM89-77 alcanzó 80 días al 50 por ciento de la floración, valores que no alcanzaron al "criterio del experto".

Selección por Altura de Planta:

La línea MQLM89-145, obtuvo una altura de planta de 125 cm y un rendimiento de 2821.9 kg/ha, valores cercanos al "criterio del experto" (menor a 120 cm y superior a 3000 kg/ha, respectivamente), asimismo presentó: 64 días promedio a la floración, 100 días promedio a la madurez, 13.6 por ciento de daño por mildiú, 3.32 g de peso de mil granos, 13.27 % de proteína y grano clasificado como semidulce de acuerdo a Koziol,

(1992). Las variables de eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado alcanzaron valores inferiores, pero cercanas a la propuesta por el mejorador, solo superó el "criterio del experto" con un valor de 44.09 kg/kg de eficiencia fisiológica de nitrógeno (EFN). Esta variable es muy importante debido a que plantas de bajo porte están menos expuestas al acame o tumbado de las mismas, a su vez facilitaría el trabajo de cosecha manual o mecanizada.

Selección por Respuesta a Mildiú (*Peronospora variabilis*):

El porcentaje de daño por mildiú más alto se presentó en la línea MQLM89-110 con 23.4% y rendimiento de 2618.4 Kg/Ha, y menor daño (8.2 y 8.0%) en las líneas MQLM89-35 y MQLM89-36, y con rendimientos de 1523.8 y 1690.3 Kg/Ha, respectivamente. Asimismo, podemos observar que éstas líneas obtuvieron valores muy bajos y/o inferiores al "criterio del experto", teniendo una eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) de 21.13 y 19.05 %, eficiencia fisiológica de nitrógeno (EFN) con 22.69 y 32.22 kg/kg, eficiencia agronómica (EAN) con 1.63 y 3.71 kg/kg, eficiencia interna de utilización (EIN) con 47.09 y 46.66 kg/kg y eficiencia de recuperación (ERN) con 6.1 y 10.7 %, respectivamente.

El desarrollo de la enfermedad se presentó en todas las parcelas evaluadas, y posteriormente de manera visual se observó una recuperación de las plantas, asimismo no se existe una relación definitiva entre el daño por mildiú y detrimento del rendimiento.

Selección por eficiencia en el Uso del Nitrógeno:

Las líneas MQLM89-134 y MQLM89-149, son las que presentaron mayor eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) con 52.95 y 53.06 %, respectivamente triplicando lo obtenido por el testigo. Ambas líneas alcanzan rendimientos que superan los 4000 kg/ha, la primera línea obtuvo un alto peso de mil granos (3.43 g) y alto % de proteína (13.2 %) superior a la línea MQLM89-149, sin embargo obtiene un porcentaje de daño por mildiú de 16.6% y una altura de 140.5 cm. La segunda línea obtuvo un % de daño por mildiú bajo de 10.2%, y peso de mil granos de 2.69 g, cercano al "criterio del experto", asimismo reúne las características de la línea mutante con mayor eficiencia en el uso del nitrógeno, obteniendo los valores más altos de: eficiencia de uso de nitrógeno (EUN: 53.06 %), eficiencia fisiológica de nitrógeno (EFN: 64.29 kg/kg), eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN: 35.69 kg/kg), eficiencia interna de utilización (EIN: 59.01 kg/kg) y eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN: 55.6 %), superando en todos los casos al "criterio del experto". Sin embargo obtuvo un bajo % de contenido de proteína 10.59% (inferior al testigo con 12.31%) y porte de altura alto de 158.2 cm (testigo de 152.9 cm).

La línea mutante MQLM89-131, presentó similares características que la línea MQLM89-149, obteniendo un rendimiento de 3927.8 kg/ha, sin embargo un % de proteína de 11.79 (menor al testigo en un 4.2 %) y alcanzando la altura más alta de las líneas mutantes en estudio con 181.7 cm (18.8 % más que el testigo: 152.9 cm).

Cuadro N° 24. Caracteres agronómicos, de calidad y eficiencia de uso de nitrógeno de las 13 líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 y seleccionadas por sus valores iguales o superiores al criterio del mejorador en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Valor de la distancia euclidiana	Orden ascendente de la distancia euclidiana	Nombre	Rendimiento (Kg/ha)	Días al 50% floración	Días a la madurez	Altura de planta (cm)	% Milledú	Peso de mil granos (g)	%Proteína	%Saponina	EUN (%)	EFN (kg/kg)	EAN (kg/kg)	EIN (kg/kg)	ERN (%)
0.33	1	MQLM89-149	4245.1	65	95.8	158.2	10.2	2.69	10.59	1.03	53.06	64.29	35.64	59.01	55.6
0.52	2	MQLM89-131	3927.8	63.9	95.9	181.7	13.5	3.12	11.79	0.94	49.09	54.37	31.68	53.01	58.4
0.59	3	MQLM89-82	4104.5	62.7	94.6	158.4	10.3	2.9	12.34	0.67	51.31	50.51	33.89	50.66	67
0.59	4	MQLM89-14	4201.8	62.7	97.7	154.7	10.3	3.21	12.42	0.96	52.52	50.24	35.11	50.33	70.2
0.7	5	MQLM89-146	3909.1	65.9	100.3	154.8	10.2	2.72	12.71	1.09	48.86	48.31	31.45	49.15	65.1
0.74	6	MQLM89-150	3790.7	64.9	100.8	161.5	9.9	2.98	12.65	0.7	47.38	48.71	29.96	49.41	61.4
0.76	7	MQLM89-153	3856.1	64.9	97.6	151.7	13.6	3.29	12.88	0.68	48.2	47.31	30.79	48.49	65
0.77	8	MQLM89-134	4236.2	62	93.1	140.5	16.6	3.43	13.2	0.74	52.95	45.89	35.54	57.86	77.6
0.79	9	MQLM89-137	3373.2	73	107.8	155.1	13.5	3.15	12.14	1.08	42.17	52.05	24.75	51.48	47.5
0.8	10	MQLM89-52	3541.9	62.7	94.6	153.2	9.7	3.43	12.63	0.73	44.28	48.77	26.86	49.48	55.2
0.81	11	MQLM89-155	3391.1	62.9	94.9	136.5	13.6	3.01	12.34	0.44	42.39	50.43	24.98	50.61	49.5
0.81	12	MQLM89-152	4122.6	63.9	95.4	151.7	13.5	2.96	13.37	0.71	51.53	44.99	34.12	46.73	75.8
0.82	13	MQLM89-92	3895.0	65.7	98.9	154.9	13.5	3.18	13.22	0.55	48.69	45.49	31.27	47.25	68.5
3.73	63	QLM89-10	1392.5	83.7	117.2	152.9	9.8	3.06	12.31	0.7	17.41	-0.01	-0.01	50.81	0

Leyenda: Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EFN), eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAN), eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN), eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN).

V. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1: EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y DE CALIDAD DE LAS LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA LA MOLINA 89.

1.1.- Caracteres Agronómicos:

Los 63 materiales evaluados mostraron diferencias significativas para los caracteres agronómicos y diferencias resaltantes con el material testigo, que permiten diferenciarlos como líneas mutantes en los siguientes caracteres:

Rendimiento:

Se distinguen 36 líneas que superan el valor promedio del experimento es decir con rendimientos superiores a 3000 kg/ha y son superiores al testigo en más de 117%. La línea de mayor rendimiento fue MQLM89-149 con 4245.1 kg/ha. El testigo alcanzo un rendimiento de 1392.5 kg/ha.

Ciclo de vida:

Para días a la floración se identificaron 12 líneas mutantes con floración entre 61 a 63 días es decir más de 20 días más precoces que el testigo que alcanzó floración a los 83 días; destaca el mutante MQLM89-13 con 61 días. Por otro lado se identificó los mutantes tardíos MQLM89-59 y MQLM89-85 que florecieron a los 93 días.

Para días a la maduración se identificaron 19 líneas mutantes precoces con maduración entre 93 y 97 días es decir 20 días o más temprano que el testigo que alcanzó maduración a los 117 días; destacan por su precocidad MQLM89-13 y MQLM89-134 con 93 días de madurez. El mutante MQLM89-85 fue el más tardío con una madurez de 128 días.

Altura de Planta:

Se identificaron 7 líneas mutantes con un rango de altura de 125 a 140 cm, los que difieren en más de 10 centímetros de altura con el testigo que alcanzo 152.9 cm; destacan los mutantes MQLM89-8 y MQLM89-145 con 125 cm de altura. Por otro lado 15 líneas mutantes mostraron una altura mayor al testigo en más de 10 centímetros dentro de un rango de 163.3 a 190 cm.

1.2.- Respuesta a la infección de Mildiú (*Peronospora variabilis*)

Las 63 líneas fueron susceptibles al mildiú en un rango de 8.3 a 23.4 por ciento de severidad. 32 líneas mutantes presentaron igual respuesta que el testigo que presentó un valor de 9.8 % de severidad.

1.3.- Caracteres de Calidad

Los 63 materiales evaluados mostraron diferencias significativas para los caracteres de calidad y diferencias resaltantes con el testigo que los diferencian como líneas mutantes en los siguientes caracteres:

Peso de mil granos

El rango fue de 2.5 a 3.53 y el testigo obtuvo un valor de 3.06 g. En esta característica no se identificaron diferencias resaltantes por lo que se considera que esta característica no sufrió cambios por efecto de la radiación gamma.

Contenido de Proteína

El contenido de proteína del testigo de 12.31%. Se considera un mutante la línea MQLM89-149 con bajo contenido de proteína igual a 10.59 % y 23 líneas mutantes con valores comprendidos entre 13.36 y 14.69%; destacando con el valor más alto la línea MQLM89-42.

Contenido de Saponina

El testigo está clasificado como una quinua amarga con un contenido de saponina de 0.7% y se observó que 14 líneas mutantes aumentaron su contenido de saponina en un rango de 1.01 a 1.34 %

Se identificaron 13 líneas mutantes con el mayor número de caracteres deseables juntos. Estas líneas son MQLM89- 149, MQLM89-131, MQLM89- 82, MQLM89-14, MQLM89-146, MQLM89-150, MQLM89-153, MQLM89-134, MQLM89-137, MQLM89-52, MQLM89-155, MQLM89-152 y MQLM89-92.

Los valores de los caracteres evaluados de éstas líneas mutantes se encuentran dentro del siguiente rango:

Rendimiento de 3373.2 a 4245.1 kg/ha, días a la floración de 62.7 a 73 días, días a la madurez de 93 a 108 días, altura de planta de 136.5 a 181.7 cm, severidad de mildiu de 10 a 16.6 %, peso de mil granos de 2.7 a 3.43 g, contenido de proteína del grano 10.59 a 13.37 %, contenido de saponina del grano de 0.44 a 1.09%

OBJETIVO 2: ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN LA ABSORCIÓN Y USO DEL NITRÓGENO DISPONIBLE Y APLICADO EN EL SUELO.

2.1.- EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO (EUN)

El testigo presentó un valor de 17.41 %, el valor más bajo observado en el experimento. Del total de líneas mutantes 44 presentan un valor mayor al testigo en más de 97%, dentro de un rango de 34.23 a 53.06%.

2.2.- EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE USO DE NITRÓGENO (EFN)

Para esta característica evaluada el testigo presenta un valor de 0 (cero) kg/kg. Las 63 líneas son superiores en un rango de 11.32 a 64.29 kg/kg.

2.3.- EFICIENCIA AGRONÓMICA DE USO DE NITRÓGENO (EAN)

El testigo presenta un valor de 0 (cero) kg/kg. 54 líneas mutantes son superiores en un rango de 10.17 a 35.64 kg/kg.

2.4.- EFICIENCIA INTERNA DE UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO (EIN)

El testigo presenta un valor de 50.81 kg/kg. 56 líneas muestran valores inferiores al testigo y 7 tienen valores ligeramente superiores al testigo en un rango de 51.02 a 59.01 kg/kg.

2.5.- EFICIENCIA APARENTE DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO (ERN)

El testigo presenta un valor de 0 (cero) %. 28 líneas mutantes son superiores en un rango de 50.5 a 84.8 %.

OBJETIVO 3: IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES DE QUINUA LA MOLINA 89 CON MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE NITRÓGENO

3.1.- EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO (EUN)

Destacan con los más altos valores MQLM89-82 (51.31%), MQLM89-152 (51.53%), MQLM89-109 (52.33%), MQLM89- 14 (52.52%), MQLM89-134 (52.95%) y MQLM89-149 (53.06%)

3.2.- EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE USO DE NITRÓGENO (EFN)

Destacan con los más altos valores los mutantes MQLM89-137 (52.05 kg/kg), MQLM89-86 (54.11 kg/kg), MQLM89-131 (54.37 kg/kg), MQLM89-75 (59.28 kg/kg) y MQLM89-149 (64.29 kg/kg).

3.3.- EFICIENCIA AGRONÓMICA DE USO DE NITRÓGENO (EAN)

Destacan con los más altos valores los mutantes MQLM89-152 (34.12 kg/kg), MQLM89-109 (34.91 kg/kg), MQLM89-14 (35.11 kg/kg), MQLM89-134 (35.54 kg/kg) y MQLM89-149 (35.64 kg/kg)

3.4.- EFICIENCIA INTERNA DE UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO (EIN)

Las líneas mutantes MQLM89-75, MQLM89-134 y MQLM89-149 superan al testigo con valores iguales a 54.97 kg/kg, 57.86 kg/kg y 59.01 kg/kg; respectivamente.

3.5.- EFICIENCIA APARENTE DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO (ERN)

Destacan con los más altos valores los mutantes MQLM89-113 (69.3%), MQLM89-14 (70.2%), MQLM89-152 (75.8%), MQLM89-134 (77.6%) y MQLM89-109 (84.8%).

VI. RECOMENDACIONES

Realizar una posterior evaluación de eficiencia de uso con nitrógeno marcado (N^{15}), en las 8 líneas identificadas con las mejores características en términos agronómicos, calidad de grano y eficiencia de uso, asimismo emplearlas en programas de mejoramiento genético.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Apaza Tapia, W.E.1995. Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa central. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 112 p.
2. Arias Mantero, L.B. 2002. Determinación del contenido proteico en mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad La Molina 89 por espectroscopia de transmitancia en el infrarrojo cercano. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Lima-Perú. UNALM. 139 p.
3. Arteaga Alcívar, F.J., 2012. Determinación de la curva de extracción y de la hoja a muestrear para análisis de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 111 p.
4. Barnett M, A.M. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 138 p.
5. Berti, Wilckens, Hevia, Serri, Vidal y Mendez. 1995. Nitrogen fertilization in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (En línea). Rev. Cien. Investig. Agr. 27 (2): 81-90 p. Consultado 20 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.agrifoodgateway.com/es/articles/fertilizaci-n-nitrogenada-en-quinoa>.
6. Boaretto, A. E. 2007. Uso eficiente de nitrógeno nos fertilizantes convencionales. Informaciones Agronómicas 120: 13-14 p.
7. Bonifacio A (2001) Resistencia de quinua al mildiu. Cultivos Andinos. FAO. Roma, Italia.
8. Borges, T.J.; Bonomo, R.C.; Paula, C. D.; Oliveira, L. C. y Cesário, M. C. 2010. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Temas Agrarios 15(1): 9-23 p.
9. Cari, A. 1988. Absorción de nutrientes por el cultivo de la quinua. En: Memorias del VI Congreso Internacional Sobre Cultivos Andinos. 30 mayo – 2 junio 1988. INIAP. Quito, Ecuador. 37-41 p.
10. Ciampitti I.A., Vyn T.J. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies. Field Crops Research, Volume 133. Pág. 48-67.
11. Cortés, L.A. 2005. Caracterización de tres ecotipos de Quinoa “*Chenopodium quinoa* Willd.” Mediante Técnicas Agroecológicas, en dos zonas

agroclimatológicamente diferentes del Departamento de Cundinamarca. *Revista Inventum*. Pág. 89-100.

12. Cui *et al.*, 2008. On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil Nmin test. *Field Crops Research* 105 (2008) 48–55 p.
13. Danielsen, S.; Ames, T. 2000. El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona Andina.- Manual práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno. Centro Internacional de la Papa, Lima (Peru). 29 p.
14. Davelouis Mc. Evoy. 1991. Fertilidad del suelo. 2da edición. Lima- Perú. 24-44 p.
15. Dawson et al. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research* 107 (2008) 89–101 p.
16. Delgado, P. 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). (En línea). *Agronomía Colombiana*, Vol. 27, núm. 2 (2009). Consultado 15 diciembre 2014. Disponible en:
<http://www.revistas.unal.edu.co/ojs/index.php/agrocol/rt/printerFriendly/11125/37760>
17. Delogu et al. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9 (1998) 11–20 p.
18. Díaz Ortega. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. (En línea). *TERRA Latinoamericana*, Vol. 22, Núm. 1. pp. 109-116. Universidad Autónoma Chapingo. México. Consultado 15 diciembre 2014. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/pdf/573/57311208012.pdf>.
19. Dobermann A.R. 2005. Nitrogen use efficiency. (En línea). State of the art. *Agronomy and Horticulture- Faculty Publications*. University of Nebraska-Lincoln. Pág. 16. Consultado 16 diciembre 2014. Disponible en:
<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1319&context=agronomyfacpub>
20. Echegaray Buezo, T. 2003. Evaluación de métodos de cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) bajo condiciones de costa. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 105 p.

21. Fageria N.K., Baligar V.C. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy*, Volume 88. Pág. 97-185.
22. Fixen, P.E. 2010. Eficiencia de uso de nutrientes el contexto de agricultura sostenible. (En línea). *Informaciones Agronómicas*. N° 76. Pág. 9. International Plant Nutrition Institute. Consultado 20 diciembre 2014. Disponible en: http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/eficienciausodenutrientes_Fixen.pdf
23. Fonseca Martel, C.1985. Evaluación del rendimiento y del contenido de proteínas del grano de la variedad de quinua "Blanca de Junín" (*Chenopodium quinoa* Willd.) influenciados por el abonamiento nitro-fosfatado. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 80 p.
24. Gabriel, J. 2013. Caracterización morfológica de 36 cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Valle Bajo de Cochabamba-Bolivia. Congreso Científico de la quinua. Facultad de Agronomía. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. Pág. 03-15
25. Gaju *et al.* 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research* 123 (2011) 139–152.
26. Gamarra C., A.D. 1984. Acumulación del nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el ciclo vegetativo del maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 152 p.
27. Gómez P. L; Jiménez D. J., Eguiluz A. 2009. El rendimiento de trabajo de los nuevos vitro dobles haploides en derivados de androgénesis de cebada. *Euphytica*. Volumen 166, Número 2.
28. Gordon Villena, A. 2011. Sistemas de cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en el rendimiento y calidad en condiciones de verano en La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 121 p.
29. Hair J., E.; Anderson, R.; Tatham, R.; Black, W. 2001. Análisis multivariante. Quinta edición. Editorial Prentice may. España. 799 p.
30. Halvorson, A.D; Nielsen, D.C.; Reule, CA. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal* 96: 1196-1201.
31. Huamancusi Morales, J.L. 2012. Efecto de la fertirrigación nitrogenada y de la modalidad de aplicación de micronutrientes en el rendimiento del cultivo de

- quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 104 p.
32. Huanca, M. 2013. Clasificación por calibre del grano en líneas de quinua roja. Congreso Científico de la quinua. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. Pág. 93-99.
33. Jacobsen, S.E; Risi J. 1998. Distribución geográfica de la quinua fuera de los países andinos. (En línea). FAO. Consultado 20 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap3.htm>
34. Jin *et al.* 2012. Effects of integrated agronomic management practices on yield and nitrogen efficiency of summer maize in North China. Effects of integrated agronomic management practices on yield and nitrogen efficiency of summer maize in North China.
35. Kantardzic, M. 2003. Data mining: concepts, models, methods, and algorithms, vol 1. Wiley, New Jersey.
36. Koziol, M. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. Vol. 19. Nos. 1&2, 179-189.
37. Leonardo Lavado, V.T. 1985. Estudio de cuatro densidades de siembra y tres niveles de abonamiento en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 82 p.
38. Liu *et al.*, 2010. Nitrogen efficiency in long-term wheat–maize cropping systems under diverse field sites in China. Field Crops Research, Volume 118, Issue 2 Pag. 145-151
39. López-Bellido, R.J.; López-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research 71 (2001) 31-46.
40. Marchetti, R., Castelli, I. 2011. Mineral nitrogen dynamics in soil during sugar beet and winter wheat crop growth. European Journal of Agronomy, Volume 35, Issue 1. Pages 13-21
41. Marschner P. 2008. Nutrient Availability in Soils. Parte II. Plant- Soil Relationships. Capítulo 2. The University of Adelaide, Australia. Pág. 315-330.
42. Mendiburu, F 1997. Análisis estadístico con R. (en línea). Sesión 4. Universidad Nacional de Ingeniería. Consultado 30 abril 2014. Disponible en:

<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/Presentations/manualUNI-R.pdf>.

43. Mendoza S, V. del P. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 138 p.
44. Mercedes Maekawa, W.H. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 91 p.
45. Miranda et al. 2012. Rendimiento y acumulación de nitrógeno en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) producida con estiércol y riego suplementario. Venesuelos 20:21-29. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Proyecto QuinAgua. La Paz-Bolivia.
46. Montemurro F. et al. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and sources of N fertilization. Field Crops Research 99 (2006) 114-124.
47. Morales. 2012. Manual de nutrición y fertilización de la quinua. (En línea). CARE Perú. Lima, Perú. Pág.16. Consultado 15 diciembre 2014. Disponible en: <http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/16/13709771404480/manual-de-fertilizacion-de-la-quinua-def.pdf>.
48. Mujica, A.; Canahua, A; Saravia, R. 2001. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. (En línea). Capítulo 2: Agronomía del cultivo de la quinua. Santiago, Chile. Consultado 10 noviembre 2014. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap2.htm#5>
49. Navarro G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.
50. Ortiz-Monasterio et al. 2013. Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. Capítulo 3: Eficiencia del uso del nitrógeno y del fósforo. CIMMYT. Pág. 33-42.
51. Prieto, G. 2006. Técnicas estadísticas de clasificación, un ejemplo de análisis cluster. (En línea). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Pág. 24-44. Consultado 10 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Tecnicas%20estadisticas%20de%20clasificacion.pdf>.

52. Quevedo y Villagarcía. 1986. Fertilidad de suelos. Convenio INIPA-UNA/IEE, IEA. Chiclayo y Arequipa-Perú. p. VII-7 al 10.
53. Quillatupa Astete, C.R. 2009. Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 158 p.
54. Quintero C. E.; Boschetti G. N. 2009. Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la región pampeana Argentina. (En línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Consultado 10 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Eficiencia%20de%20Uso%20del%20Nitrógeno%20en%20Trigo%20y%20Maiz.asp>
55. Raun W.R, Johnson G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. (En línea). Vol. 91. Number 3. Pág. 357-362. Consultado 10 diciembre 2014. Disponible en: http://www.plantstress.com/articles/min_deficiency_m/nue.pdf
56. Razzaghi, F. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*, Volume 109. Pages 20-29.
57. Riar A., Coventry D. 2013. Nitrogen use as a component of sustainable crop systems. Chapter 4. *Agricultural Sustainability. Progress and Prospects in Crop Research*. Pag. 63-76.
58. Risco Mendoza, A. 2011. Efecto de 5 propuestas de abonamiento y dos distanciamientos entre surcos en el rendimiento y calidad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Vilcashuamán - Ayacucho. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 93 p.
59. Roberts T. 2008. Improving nutrient use efficiency. (En línea). *Turk. J. Agric. For.* 32 (2008) 177-182. International Plant Nutrition Institute, Georgia. USA. Consultado 10 diciembre 2014. Disponible en: <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-08-32-3/tar-32-3-4-0801-9.pdf>
60. Roy. R. N.; A. Finck, G. J. Blair and H. S. L. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 249 p.

61. Saravia Navarro, D. 2011. Tolerancia a sequía y eficiencia de uso del nitrógeno en cuatro clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de Huancayo, Junín. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 105 p.
62. Schulte auf'm Erley et al. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *Europ. J. Agronomy* 22 (2005) 95–100.
63. Sinebo et al. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. *Field Crops Research* 85 (2004) 43–60.
64. Stewart, W.R. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. (En línea). *Informaciones agronómicas*. N° 67. Pág. 7. Consultado 10 diciembre 2014. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/\\$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf)
65. Sui *et al.*, 2013. Optimizing nitrogen supply increases rice yield and nitrogen use efficiency by regulating yield formation factors. *Field Crops Research* 150 (2013) 99–107
66. Tapia, Mario E. 1997. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Oficina Regional para América Latina y El Caribe. Santiago. 273 p.
67. Tapia, Mario E.; Sánchez, J.; Moron, C.; Ayala G; Fries, A.M. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. (En línea). Segunda Edición. Capítulo III: Agronomía de los cultivos andinos .FAO. Santiago, Chile. Consultado 11 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/home10.htm>
68. Tapia, M. 2012. Historia, distribución geográfica, actual producción y usos: La quinua. (En línea). *Revista N° 99. Revista Ambienta*. Consultado 11 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/quinua.htm>
69. Tapia Tadeo, F.2003. Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 113 p.

70. Ticona, E. 2012. Evaluación comparativa del rendimiento de la quinua, bajo siembra directa y trasplante en el inicio de la época lluviosa. Congreso Científico de la quinua. La Paz, Bolivia. Pág. 137-147.
71. Timaná S, G. 1992. Dosis y momentos de aplicación del Cycocel y su efecto frente a niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento de quinua. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 113 p.
72. Tomassini Vidal, L.R. 1993. Evaluación mediante técnicas isotópicas con ^{15}N de la eficiencia de uso de la urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio en el cultivar de papa en Santa Rosa de Ocopa, Junín. Tesis Magister Scientiae. Lima-Perú. UNALM. 90 p.
73. Wahli, C. 2009. Quinua, hacia su cultivo comercial. Quito, Colombia. 206 p.
74. Zagal, E. 2003. Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. (En línea). Agric. Téc. v.63 n.3 Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Consultado 15 diciembre 2014. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072003000300009&script=sci_arttext.
75. Zhu, Z.L.; Chen, D, L. 2002. Nitrogen fertilizer use in China –Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Volume 63, Issue 2-3, pp 117-127

VIII. ANEXOS

Anexo N° 01. ANÁLISIS DEL SUELO

Lab	Número de muestra	pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	P (ppm)	K (ppm)	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena	Limo	Arcilla			Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3 + H+			
7603	Campo Guayabo II	7.79	0.51	0.5	1.1	5.5	121	57	29	14	Fr. A.	10.08	8.7	0.98	0.23	0.17	0	10.08	10.08	100

Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Fecha: 05/07/2012

Anexo N° 02. Distancia euclidiana promedio de las 63 líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo el criterio del experto, considerando caracteres agronómicos, de calidad y eficiencia de uso de nitrógeno desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en la variedad LM89 en condiciones de La Molina campaña 2012B - 2013A.

Valor de la distancia euclidiana	Orden ascendente de la distancia euclidiana	Nombre	Rendimiento (Kg/ha)	Días al 50% floración	Días a la madurez	Altura de planta (cm)	% Milledú	Peso de mil granos (g)	%Proteína	%Saponina	EUN (%)	EFN (kg/kg)	EAN (kg/kg)	EIN (kg/kg)	ERN (%)
1.444	1	MQLM89-134	4236.2	62	93.1	140.5	16.6	3.43	13.2	0.74	52.95	45.89	35.54	57.86	77.6
1.492	2	MQLM89-153	3856.1	64.9	97.6	151.7	13.6	3.29	12.88	0.68	48.2	47.31	30.79	48.49	65
1.513	3	MQLM89-92	3895	65.7	98.9	154.9	13.5	3.18	13.22	0.55	48.69	45.49	31.27	47.25	68.5
1.522	4	MQLM89-14	4201.8	62.7	97.7	154.7	10.3	3.21	12.42	0.96	52.52	50.24	35.11	50.33	70.2
1.536	5	MQLM89-152	4122.6	63.9	95.4	151.7	13.5	2.96	13.37	0.71	51.53	44.99	34.12	46.73	75.8
1.554	6	MQLM89-82	4104.5	62.7	94.6	158.4	10.3	2.9	12.34	0.67	51.31	50.51	33.89	50.66	67
1.591	7	MQLM89-13	3470.6	60.9	92.6	133.2	10.6	3.14	13.61	0.44	43.38	43.28	25.97	45.92	60.3
1.596	8	MQLM89-52	3541.9	62.7	94.6	153.2	9.7	3.43	12.63	0.73	44.28	48.77	26.86	49.48	55.2
1.6	9	MQLM89-163	3486.1	63	97.9	146.9	13.5	3.33	12.94	0.54	43.58	46.71	26.16	48.27	55.9
1.615	10	MQLM89-94	3459.5	63	97.2	138.5	13.2	3.35	12.62	0.62	43.24	48.67	25.83	49.51	53
1.646	11	MQLM89-150	3790.7	64.9	100.8	161.5	9.9	2.98	12.65	0.7	47.38	48.71	29.96	49.41	61.4
1.648	12	MQLM89-12	3386.2	63	95.1	154.7	10.3	3.31	13.1	0.42	42.33	45.81	24.91	47.72	54.5
1.685	13	MQLM89-109	4186.5	62	94.3	147.2	16.6	3.03	14.24	0.78	52.33	41.05	34.91	43.9	84.8
1.691	14	MQLM89-113	3764.1	66	97.8	165.2	13.1	3.26	13.77	0.87	47.05	42.57	29.63	45.37	69.3
1.71	15	MQLM89-48	3435.5	71.6	107.9	146.4	9.7	3.51	13.52	0.55	42.95	43.63	25.53	46.2	58.5
1.718	16	MQLM89-89	3433.1	65.7	97.3	161.9	10.4	3.42	12.97	0.81	42.91	46.61	25.49	48.19	54.9
1.722	17	MQLM89-155	3391.1	62.9	94.9	136.5	13.6	3.01	12.34	0.44	42.39	50.43	24.98	50.61	49.5

1.736	18	MQLM89-41	3598.9	65	96.9	166.3	13.6	3.22	13.89	0.71	44.99	41.98	27.57	44.99	65.7
1.738	19	MQLM89-112	3799.8	68	99.4	157.1	19.3	3.26	13.2	0.83	47.49	45.52	30.08	47.34	66
1.771	20	MQLM89-146	3909.1	65.9	100.3	154.8	10.2	2.72	12.71	1.09	48.86	48.31	31.45	49.15	65.1
1.772	21	MQLM89-164	3513.8	64.9	96	156.6	10.7	3.04	13.2	0.99	43.92	45.28	26.51	47.34	58.3
1.805	22	MQLM89-114	3476.5	73	105.9	153.5	13.1	3.09	13.36	0.81	43.46	44.34	26.04	46.75	58.6
1.81	23	MQLM89-135	3334.2	63.9	96.2	158.9	12.8	3.33	12.73	0.87	41.68	47.98	24.26	49.08	50.5
1.811	24	MQLM89-175	3274.5	64.9	100	143.7	10.6	3.37	14.32	0.67	40.93	39.64	23.52	43.67	59.7
1.856	25	MQLM89-131	3927.8	63.9	95.9	181.7	13.5	3.12	11.79	0.94	49.09	54.37	31.68	53.01	58.4
1.861	26	MQLM89-179	3202.7	63.9	96	148.3	13.7	3.24	13.51	0.87	40.03	43.33	22.62	46.24	52.2
1.873	27	MQLM89-56	3294.4	72.9	108.2	151.2	9.7	3.09	13.89	0.7	41.18	41.85	23.77	45	57.6
1.918	28	MQLM89-127	3039.8	62.7	98.1	150.1	9.6	3.34	12.24	0.79	37.99	51.21	20.58	51.02	40.3
1.929	29	MQLM89-4	3224.2	76.9	108.1	151.5	10.4	3.53	13.09	0.85	40.3	45.76	22.89	47.75	49.9
1.994	30	MQLM89-154	3244.2	64.7	95.9	150.5	13.4	2.69	14.11	0.63	40.55	40.35	23.14	44.29	57.2
2.011	31	MQLM89-137	3373.2	73	107.8	155.1	13.5	3.15	12.14	1.08	42.17	52.05	24.75	51.48	47.5
2.016	32	MQLM89-145	2821.9	64	99.9	124.8	13.6	3.32	13.27	0.39	35.27	44.09	17.86	47.09	40.6
2.02	33	MQLM89-69	3069.7	75.9	110.8	154.8	9.6	3.4	12.63	0.65	38.37	48.78	20.95	49.5	43.1
2.022	34	MQLM89-120	2962.5	68.7	96.1	153.3	9.4	3.08	12.81	0.81	37.03	47.39	19.62	48.82	41.6
2.124	35	MQLM89-136	2952.6	68.7	99.1	154.9	10.2	2.94	13.22	0.92	36.91	44.49	19.49	47.25	43.6
2.135	36	MQLM89-77	3032.9	80	113.8	158.2	10	3.11	13.73	0.48	37.91	41.9	20.49	45.51	49
2.139	37	MQLM89-124	3255.9	73	108.2	165.1	16.6	2.78	12.71	0.99	40.69	48.24	23.29	49.18	48.8
2.148	38	MQLM89-149	4245.1	65	95.8	158.2	10.2	2.69	10.59	1.03	53.06	64.29	35.64	59.01	55.6
2.167	39	MQLM89-111	2904.9	65.4	97.3	146.8	19.4	3.07	13.4	0.71	36.31	43.15	18.89	46.61	43.5
2.177	40	MQLM89-66	2796.2	74.7	108.1	128.3	13.1	3.25	13.51	0.75	34.95	42.59	17.53	46.27	41.2
2.255	41	MQLM89-33	2983.4	71.9	107.8	178.1	9.9	3.08	13.93	0.91	37.29	40.61	19.88	44.87	48.7
2.261	42	MQLM89-9	2966	80.3	113.9	161.2	10.6	3.17	13.52	1.01	37.08	42.76	19.66	46.21	45.9

2.422	43	MQLM89-110	2618.4	63	95.4	136.7	23.4	3.53	13.45	0.88	32.73	42.25	15.31	46.48	36
2.447	44	MQLM89-83	2566.3	74.7	108.1	153.2	13.5	2.99	12.42	0.8	32.08	49.88	14.66	50.33	29.5
2.451	45	MQLM89-75	3104.2	79	113.7	153.6	9.5	2.83	11.37	1.21	38.8	59.28	21.38	54.97	36.3
2.488	46	MQLM89-42	2738.6	79	114.1	166.7	13.3	3.28	14.69	0.84	34.23	36.45	16.81	42.55	46.3
2.552	47	MQLM89-86	2552.7	80.6	114	159.6	13.8	3.05	11.96	0.76	31.91	54.11	14.49	52.26	26.8
2.561	48	MQLM89-15	2445.7	79	115.6	149.7	10.2	3.12	12.88	0.88	30.57	45.92	13.16	48.55	28.8
2.565	49	MQLM89-122	2508.7	73	108.2	166.9	13.1	3.03	12.42	1.08	31.36	50.03	13.94	50.32	28.1
2.651	50	MQLM89-121	2224.1	63.9	104.8	155	9.4	2.98	12.84	0.85	27.8	46.49	10.38	48.67	22.8
2.695	51	MQLM89-139	2319.9	67	102	178.4	13.4	3.08	12.33	0.96	28.99	50.83	11.58	50.69	22.7
2.846	52	MQLM89-50	2173.6	72.9	108	166.3	13.4	2.69	12.87	0.87	27.17	45.09	9.76	48.58	21.6
2.85	53	MQLM89-43	2207.5	73.9	107.9	163.2	13.3	3.21	14.32	1.05	27.59	34.79	10.17	43.62	28.7
2.914	54	MQLM89-140	2004.8	68.7	96.2	149.9	9.9	3.01	12.6	1.26	25.06	47.09	7.64	49.57	16
3.018	55	MQLM89-31	2312.3	85	116.8	181.4	9.6	3.17	14.51	1.23	28.9	34.72	11.49	43.07	32.4
3.079	56	MQLM89-85	2430.8	93.1	127.9	189.9	10.1	2.86	13.85	1.2	30.39	39.34	12.97	45.13	33.2
3.081	57	MQLM89-49	1695.5	68.7	104.9	148.9	12.9	3.23	12.76	0.84	21.19	44.36	3.78	48.97	9
3.326	58	MQLM89-32	1603.4	74	108.1	165.2	9.4	3.06	14.18	0.69	20.04	22.99	2.63	44.04	11
3.413	59	MQLM89-36	1690.3	74.7	108.4	189.9	8	3.09	13.39	1.34	21.13	32.22	3.71	46.66	10.7
3.452	60	MQLM89-123	1801.1	90.9	124.2	148.6	9.9	2.47	12.32	1.28	22.51	49.72	5.09	50.72	10.1
3.471	61	MQLM89-8	1536.1	78	114	125.2	10.6	3.14	12.69	0.99	19.2	11.32	1.79	49.28	4.8
3.492	62	MQLM89-35	1523.8	79	114.3	164.8	8.2	3.13	13.27	1.19	19.05	22.69	1.63	47.09	6.1
3.726	63	QLM89-10	1392.5	83.7	117.2	152.9	9.8	3.06	12.31	0.7	17.41	-0.01	-0.01	50.81	0
3.849	64	MQLM89-59	1490.4	92.6	119.8	144.9	13.3	2.6	10.8	1.02	18.63	26.78	1.21	47.33	-2

Leyenda: Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno (EFN), eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAN), eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EIN), eficiencia aparente de recuperación de nitrógeno (ERN).