

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“NIVELES NUTRICIONALES Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL  
RENDIMIENTO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) Var.  
LA MOLINA 89, EN RIEGO POR GOTEO”**

**Presentado por:**

**BETZY JANNET BAUMANN SCHULER**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Lima – Perú**

**2018**

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

**“NIVELES NUTRICIONALES Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN EL  
RENDIMIENTO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) Var. LA  
MOLINA 89, EN RIEGO POR GOTEO”**

**Presentado por:**  
**BETZY JANNET BAUMANN SCHULER**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:**  
**INGENIERO AGRONOMO**

**Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:**

---

**Dra. Luz Gómez Pando**  
**PRESIDENTE**

---

**Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo**  
**ASESOR**

---

**Dr. Guillermo Aguirre Yato**  
**MIEMBRO**

---

**Ing. Mg. Sc. Julio Nazario Ríos**  
**MIEMBRO**

**Lima - Perú**  
**2018**

*Gracias a mi madre: Margarita Rosa Schuler Schmidt por su dedicación, amor y sus enseñanzas, gracias por creer y confiar siempre en mí, gracias a Dios por la vida de mi madre, y gracias a la vida por permitirme verla y disfrutar cada día a su lado; y aunque hoy ya no estés aquí, sé que siempre me acompañas, guías y cuidas en cada paso que doy. Un beso al cielo.*

## INDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1</b>	<b>AGRONOMÍA DEL CULTIVO</b> .....	3
<b>2.2</b>	<b>RESPUESTA DE LA QUINUA AL NIVEL NUTRICIONAL</b> .....	15
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
<b>3.1</b>	<b>MATERIALES</b> .....	21
<b>3.1.1</b>	<b>LUGAR DEL EXPERIMENTO</b> .....	21
<b>3.1.2</b>	<b>CARACTERISTICAS DEL SUELO</b> .....	21
<b>3.1.3</b>	<b>CARACTERISTICAS DEL AGUA</b> .....	21
<b>3.1.4</b>	<b>CARACTERISTICAS CLIMATOLÓGICAS</b> .....	22
<b>3.1.5</b>	<b>CARACTERISTICAS DE LA VARIEDAD DE QUINUA EN ESTUDIO</b> ..	22
<b>3.1.6</b>	<b>MÓDULO DE RIEGO POR GOTEO</b> .....	23
<b>3.1.7</b>	<b>FUENTES DE FERTILIZANTES</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	27
<b>3.2.1</b>	<b>CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO</b> .....	27
<b>3.2.2</b>	<b>FACTOR EN ESTUDIO</b> .....	31
<b>3.2.3</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	31
<b>3.2.4</b>	<b>CARACTERISTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL</b> .....	32
<b>3.2.5</b>	<b>VARIABLES EVALUADAS</b> .....	34
<b>3.2.6</b>	<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:</b> .....	37
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	39
<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS GENERALES DE CUATRO NIVELES NUTRICIONALES POR DENSIDAD DE SIEMBRA</b> .....	39
<b>4.1.1</b>	<b>RESPUESTA DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA</b> .....	39
<b>4.1.2</b>	<b>RESPUESTA DEL NIVEL NUTRICIONAL</b> .....	41
<b>4.2</b>	<b>RENDIMIENTO (kg/ha)</b> .....	46
<b>4.3</b>	<b>COMPONENTES DE RENDIMIENTO</b> .....	50
<b>4.3.1</b>	<b>PESO DE GRANO POR PANOJA (g)</b> .....	50
<b>4.3.2</b>	<b>PESO DE MIL GRANOS (g)</b> .....	51
<b>4.4</b>	<b>VARIABLES DE CRECIMIENTO</b> .....	55
<b>4.4.1</b>	<b>ALTURA DE PLANTA (cm)</b> .....	55

4.4.2	DIÁMETRO DE TALLO (cm) .....	56
4.4.3	LONGITUD DE PANOJA (cm).....	57
4.4.4	DIÁMETRO DE PANOJA (cm).....	57
4.4.5	ÁREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> /planta).....	59
4.4.6	MATERIA SECA TOTAL Y SUS COMPONENTES.....	66
4.5	COMPONENTES DE CALIDAD .....	73
4.5.1	GRANULOMETRIA .....	73
4.5.2	PORCENTAJE DE PROTEÍNA EN GRANO (%) .....	74
4.5.3	PORCENTAJE DE SAPONINAS (%).....	75
4.5.4	PORCENTAJE DE HUMEDAD (%).....	76
4.6	PARÁMETROS AGRONÓMICOS.....	85
4.6.1	EFICIENCIA DE USO DE AGUA – EUA (kg/m <sup>3</sup> ).....	85
4.6.2	COEFICIENTE DE TRANSPIRACIÓN – CT (l/kg).....	85
4.6.3	INDICE DE AREA FOLIAR – IAF (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) .....	86
4.6.4	INDICE DE COSECHA – IC (%).....	87
4.7	ANÁLISIS AGROECONÓMICO .....	93
V.	CONCLUSIONES.....	95
VI.	RECOMENDACIONES.....	96
VII.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	97
VIII.	ANEXOS .....	106

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1:</b> Valores nutricionales en 100 g de quinua.....	5
<b>CUADRO 2:</b> Aminoácidos presentes en la proteína del grano de quinua.....	5
<b>CUADRO 3:</b> Resumen de los requerimientos de días para las fases y sub fases de accesiones estudiadas (La Molina 2007-2008) .....	9
<b>CUADRO 4:</b> Requerimientos medioambientales del cultivo de quinua.....	11
<b>CUADRO 5:</b> Análisis de caracterización química de suelo.....	24
<b>CUADRO 6:</b> Análisis de caracterización de agua.....	25
<b>CUADRO 7:</b> Datos climatológicos promedios de La Molina. Periodo experimental Junio - Noviembre 2015.....	26
<b>CUADRO 8:</b> Fuentes de fertilizantes y su contenido en nutrientes.....	27
<b>CUADRO 9:</b> Programación del régimen de riego del experimento.....	30
<b>CUADRO 10:</b> Densidades de siembra utilizadas durante el experimento.....	31
<b>CUADRO 11:</b> Niveles nutricionales utilizados durante el experimento.....	31
<b>CUADRO 12:</b> Cronograma de aplicación de fertilizantes y labores culturales.....	38
<b>CUADRO 13:</b> Resultados de cuatro niveles nutricionales en D1: 100,000 plantas/ha.....	43
<b>CUADRO 14:</b> Resultados promedios de cuatro niveles nutricionales en D2: 150,000 plantas/ha.....	44
<b>CUADRO 15:</b> Resultados promedios de cuatro niveles nutricionales en D3: 200,000 plantas/ha.....	45
<b>CUADRO 16:</b> Rendimiento de grano de quinua (14% humedad) kg/ha.....	48
<b>CUADRO 17:</b> Componentes del rendimiento de quinua.....	52
<b>CUADRO 18:</b> Variables de crecimiento de quinua.....	60
<b>CUADRO 19:</b> Materia seca y sus componentes.....	68
<b>CUADRO 20:</b> Granulometría de grano de quinua.....	77
<b>CUADRO 21:</b> Componentes de calidad del grano de quinua.....	81
<b>CUADRO 22:</b> Parámetros agronómicos para el cultivo de quinua.....	88
<b>CUADRO 23:</b> Análisis agroeconómico para el cultivo de quinua.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de aleatorización de cuatro niveles nutricionales bajo tres densidades de siembra.....	33
<b>Figura 2:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el rendimiento de quinua (kg/ha).....	49
<b>Figura 3:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el peso de grano/panoja (g).....	53
<b>Figura 4:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el peso de mil granos (g).....	54
<b>Figura 5:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la altura de planta (cm).....	61
<b>Figura 6:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el diámetro de tallo (cm).....	62
<b>Figura 7:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la longitud de la panoja (cm).....	63
<b>Figura 8:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el diámetro de la panoja (cm).....	64
<b>Figura 9:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el área foliar (cm <sup>2</sup> /planta).....	65
<b>Figura 10:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de hojas (g).....	69
<b>Figura 11:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de tallo (g/planta).....	70
<b>Figura 12:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de panoja (g/planta).....	71
<b>Figura 13:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca total (g/planta).....	72
<b>Figura 14:</b> Proporción de diámetros de grano (%) en el cultivo de quinua, variedad La Molina 89.....	78
<b>Figura 15:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el porcentaje de proteína en grano (%).....	82
<b>Figura 16:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional, en el porcentaje de saponina (%).....	83

<b>Figura 17:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el porcentaje de humedad del grano (%).....	84
<b>Figura 18:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el uso eficiente de agua - EUA (kg/m <sup>3</sup> ).....	89
<b>Figura 19:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el coeficiente de transpiración - CT (l/kg).....	90
<b>Figura 20:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el índice de área foliar- IAF (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ).....	91
<b>Figura 21:</b> Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el índice de cosecha- IC (%).....	92



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Área del experimento.....	107
<b>ANEXO 2:</b> Fotografía de la prueba de germinación, previa a la siembra.....	107
<b>ANEXO 3:</b> Fotografía del cultivo luego del desahije y primer aporque.....	108
<b>ANEXO 4:</b> Fotografía tomando altura de planta.....	108
<b>ANEXO 5:</b> Fotografía del enmallado del campo, para evitar daño de aves.....	109
<b>ANEXO 6:</b> Fotografía de una panoja.....	109
<b>ANEXO 7:</b> Análisis estadístico para el rendimiento de grano (kg/ha).....	110
<b>ANEXO 8:</b> Análisis estadístico para los componentes de rendimiento.....	111
<b>ANEXO 9:</b> Análisis estadístico para las variables de crecimiento.....	113
<b>ANEXO 10:</b> Análisis estadístico para la calidad de grano.....	122
<b>ANEXO 11:</b> Análisis estadístico para los parámetros agronómicos.....	130

## RESUMEN

Se estudió la respuesta de cuatro niveles nutricionales; Sin fertilizar o Testigo, NPK, NPK + Ca y NPK + Ca + Microelementos con hierro, manganeso y zinc bajo tres densidades de siembra 160,000 plantas/ha, 120,000 plantas/ha y 80,000 plantas/ha, en el rendimiento, sus componentes, variables de crecimiento, parámetros agronómicos y calidad de grano; bajo riego por goteo.

La fase de campo del experimento se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Riegos del Departamento Académico de Suelos, Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria La Molina entre los meses de junio a noviembre del 2015. El diseño estadístico fue parcelas divididas. Los cuatro niveles nutricionales en estudio fueron asignados aleatoriamente a nivel de las sub-parcelas dentro de cada parcela completa. Las densidades de siembra fueron asignadas aleatoriamente a nivel de parcelas dentro de cada bloque, con cuatro repeticiones.

Bajo las condiciones de moderada salinidad del suelo y del agua de riego, en las cuales se manejó el ensayo, la respuesta de la densidad de siembra no fue significativa. La respuesta al diferenciado nivel nutricional fue altamente significativo. No se detectó significación para la interacción densidades x niveles.

Para densidades de siembra, el mayor rendimiento caracteriza a 160,000 pl/ha, con una media de 3,790 kg/ha de grano-quinua, mostrando incrementos porcentuales de 5.2 % respecto a 120,000 pl/ha y de 7.5 % respecto a 80,000 pl/ha. Para niveles nutricionales, el mayor rendimiento caracteriza a NPK + Ca con 4,209 kg/ha de quinua-grano, con diferencias porcentuales de 13.7 % respecto a NPK + Ca + Micro, de 16.1 % respecto a NPK y de 39.5 % respecto al Testigo sin fertilizar, que presenta el menor rendimiento con 3,018 kg/ha.

El nivel nutricional NPK + Ca, en las tres densidades de siembra 160,000, 120,000 y 80,000 plantas/ha, obtuvo los mayores rendimientos de grano de quinua, con 4,637 kg/ha, 3,906 kg/ha y 4,084 kg/ha de grano quinua respectivamente. En general, se halló respuesta a la fertilización estándar NPK con 20.2 % de incremento en el rendimiento respecto del testigo. Se halló respuesta a la fertilización con calcio con 15.9 % respecto del estándar NPK y no se halló respuesta a la fertilización con microelementos, con decremento del orden de -13.7 % respecto de NPK + Ca.

En general, las variables de crecimiento, excepto altura de planta, no presentan diferencias estadísticas para densidades de siembra. Para niveles nutricionales todas las variables presentan diferencias altamente significativas. El peso grano/panoja y peso de 1000 granos presentan diferencias estadísticas para niveles nutricionales. Para densidades de siembra solo el peso de grano/panoja es significativo y los mayores valores se presentan a nivel NPK + Ca con 80,000 pl/ha.

Para los componentes de la calidad del grano las diferencias son altamente significativas, el mayor resultado para saponinas caracteriza a NPK + Ca, con 1.6 %. Para proteínas, el mejor valor caracteriza al nivel nutricional NPK + Ca + Micro con un valor de 24.7 %. La granulometría en los cuatro niveles nutricionales, indica que el mayor porcentaje de grano se encuentra en el diámetro de grano de 1.4 mm, siendo este un 84.5 % del total de granos

Con un ciclo vegetativo de 155 días y un requerimiento de riego de 2,750 m<sup>3</sup>/ha, la mayor eficiencia de uso de agua (EUA) con 1.53 kg/m<sup>3</sup> y el menor índice de cosecha (IC%) con 32.5 %, se presenta a nivel de NPK + Ca. El testigo no fertilizado presenta el mayor coeficiente de transpiración con 496 l/kg.

El mayor índice de rentabilidad para densidades se presenta a nivel 160,000 plantas /ha con 67.6 %. Para niveles nutricionales se presenta en el testigo no fertilizado con 87.7 %. La mayor utilidad neta caracteriza al tratamiento 160,000 pl/ha a nivel de NPK + Ca y la menor utilidad con 80,000 pl/ha a nivel de NPK+ Ca + Microelementos.

**Palabras clave:** Quinoa, densidad de siembra, niveles nutricionales.

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, 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**).

La quinua es un cultivo con alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria de diversas regiones del país y del mundo, debido a su gran calidad nutritiva y su tolerancia a climas adversos y suelos degradados, característica que la han llevado a ser nombrada el “grano de oro” y recibir reconocimiento a nivel internacional.

La quinua es un cultivo interesante por sus muchas cualidades. Su valor agronómico, radica en su rusticidad, prosperando en condiciones adversas y tolerando diferentes tipos de estrés, destacando en particular su tolerancia a la sequía (**Jacobsen y Mujica, 1999; Geerts *et al.*, 2008; Fisher *et al.*, 2013**).

La composición nutricional de los granos de quinua y las múltiples características que tiene el cultivo ha motivado en los últimos años el consumo y revaloración de este grano andino a nivel mundial. Debido al elevado y balanceado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como uno de los alimentos del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales (**FAO, 2011**), la presencia de estos componentes nutricionales hace que sea un excelente ejemplo de "alimento funcional", que además de nutrir, contribuye a reducir el riesgo de diversas enfermedades y consecuentemente, el buen estado de salud del consumidor. Comparado con otros granos, la quinua presenta características nutricionales superiores en cuanto al contenido de proteínas y aminoácidos esenciales, por ejemplo, los aminoácidos esenciales se encuentran en el núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en el exosperma o cáscara, como el arroz o trigo; además no contiene gluten. Por lo expuesto, su consumo resulta muy útil en las etapas de desarrollo y crecimiento del organismo humano. Además es fácil de digerir y se prepara bajo diferentes presentaciones en dietas completas y equilibradas para niños y adultos.

Con el reconocimiento de sus propiedades nutritivas por parte de consumidores de países desarrollados, la quinua ha recobrado importancia a nivel nacional y mundial, por lo cual las demandas van en aumento. La creciente y permanente demanda de los mercados mundiales por el grano de quinua exige la ampliación de áreas de siembras e introducción de tecnología para obtener mayores rendimientos, de esta manera estos granos se empezaron a sembrar en zonas no tradicionales como la Costa Peruana. Esta iniciativa es bastante interesante, considerando que el uso consuntivo de agua de la quinua es menor a otros cultivos tradicionales de la costa como el arroz y las hortalizas.

Es posible realizar el cultivo de quinua en la costa debido a que el cultivo tiene una extraordinaria adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos. Es una planta eficiente en el uso de agua, es tolerante y resistente a la falta de humedad del suelo, y permite producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm.

La Costa Peruana se caracteriza por presentar suelos sumamente pobres de textura arenosa o franco-arenosa y salina. Actualmente es una zona importante para este cultivo ya que gracias a la diversidad de variedades y su gran capacidad de adaptación se están sembrando grandes áreas y se tienen proyectos para continuar desarrollando tecnología en este cultivo y crecer en superficie y producción, por tanto, es importante conocer los factores más importantes que puedan limitar su producción, entre ellos la disponibilidad de agua y nutrientes.

Por lo anterior expuesto, se realizó el siguiente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

1. Determinar la respuesta de tres densidades de siembra en el crecimiento y rendimiento de la quinua var. La Molina 89.
2. Determinar la respuesta de interacción entre el diferenciado nivel nutricional en tres densidades de siembra en quinua var. La Molina 89.
3. Determinar los parámetros agronómicos del cultivo de quinua var. La Molina 89, bajo riego por goteo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 AGRONOMÍA DEL CULTIVO

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo nativo de la región Andina. La mayoría de los investigadores coinciden en indicar que la quinua es originaria del altiplano que comparten Perú y Bolivia, ya que en dichas áreas se encuentra la mayor diversidad de plantas cultivadas y parientes silvestres (**Gandarillas, 1979, Muñoz et al., 1990**).

Este cultivo fue domesticado y cultivado hace 5800 años aproximadamente en los andes de Sudamérica, la palabra quinua o quinoa es de origen quechua. Fue parte principal de los productos empleados en la alimentación en la época pre-incaica e incaica conjuntamente con la papa y el maíz, perdió importancia después de la conquista, por la introducción de cultivos como el trigo, habas, cebada y arvejas que se adaptaron muy bien a las condiciones de los Andes (**Tapia et al., 1979**).

Su potencial de rendimiento está alrededor de las 11 ton/ha (**Canahua et al., 2001**), mientras que las estadísticas agrarias señalan que el rendimiento promedio nacional es de 1.2 ton/ha (**SIEA, 2015**), esto significa que hay una gran brecha que debe ser superada.

Los principales productores a nivel mundial son Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia (**Coila et al., 2001**). En el Perú se viene incrementando la producción de manera sostenida desde el año 1993, y actualmente es superior a las 114,3 toneladas anuales (**SIEA, 2015**).

La quinua en el Perú cuenta con ventajas comparativas que otros países no poseen, por ejemplo, se cultiva y cosecha en la costa, a nivel del mar, lo que amplía la frontera agrícola para este cultivo ancestral, este cultivo requiere menor cantidad de agua que otros cultivos costeros, como el arroz; de aquí se desprende el principal motivo que hace beneficioso el cultivo del cereal en la costa. Esto lleva a la necesidad de investigar este cultivo nativo de Sierra para implementar áreas de siembra en la costa, evaluando los diversos factores que pueden influir en su crecimiento y rendimiento como son los diferentes niveles nutricionales, las poblaciones de plantas, su disposición espacial y la búsqueda de variedades adecuadas para cada lugar de siembra; además de continuar con la búsqueda

de tecnologías modernas de producción que permitan abastecer el mercado interno y a su vez generar excedentes para su exportación hacia mercados mundiales.

El Centro de Comercio Exterior (CCEX) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL) informó que la exportación de quinua peruana al cierre del 2015 se valorizó en US\$ 143 millones y los envíos en volumen sumaron cerca de 42.000 toneladas, lo que significó un crecimiento de 13 % es decir 4.743 toneladas más que el año anterior. Respecto a los principales mercados de destino, Estados Unidos representa el 44 % del total exportado por el Perú, seguido de Canadá (8 %), Holanda y Reino Unido con 7 % para ambos casos e Italia con 5 % (**Diario Gestión, 2016**).

El Director General Agrícola del Minagri, resaltó las extraordinarias propiedades alimenticias de los granos andinos, que se remontan a tiempos ancestrales, y cuyo consumo se ha extendido a lo largo de 35 países, donde sus potenciales compradores están convencidos de su valor nutritivo, además confirmó que el Perú sigue siendo por tercer año consecutivo, el principal productor y exportador mundial de quinua, superando a Bolivia (**Diario Gestión, 2017**).

Las cualidades nutricionales de la quinua según los estándares de nutrición humana establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales como la metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina, y contiene casi el doble de lisina respecto a otros granos y cereales. Además, posee vitaminas del complejo B, vitaminas C y E, tiamina, riboflavina y un alto contenido de potasio y fósforo en la proteína de la quinua (**Koziol 1992; González et al., 2012**).

La quinua tiene un excelente valor nutricional por su contenido de aminoácidos que conforman su proteína, como lisina y metionina. Según **Gómez (2012)**, el contenido de proteínas de las semillas de quinua varía entre 14-22 %.

En el Cuadro 1 y 2 se presentan los valores nutricionales en 100 g de quinua y los aminoácidos presentes en la proteína de la misma.

**Cuadro 1: Valores nutricionales en 100 g de quinua**

<b>Valor nutricional</b>	<b>%</b>
Humedad	10.2 a 12%
Proteínas	12.5 a 14%
Grasas	5.1 a 6.4%
Cenizas	3.3 a 3.4%
Carbohidratos	59.7 a 67.6%
Fibra	3.1 a 4.1%

**FUENTE: León, 2013**

**Cuadro 2: Aminoácidos presentes en la proteína del grano de quinua**

<b>Aminoácidos</b>	<b>%</b>
Arginina	7.40%
Isoleucina	6.40%
Leusina	7.10%
Lisina	6.60%
Fenilalanina	3.50%
Metionina	2.40%
Tirosina	2.80%
Trionina	4.80%
Valina	4.00%

**FUENTE: León, 2013**



La quinua forma parte de la familia Amaranthaceae (**APG, 1998** citado por **Medrano, 2010**). Las clasificaciones modernas basadas en la historia evolutiva, tales como la clasificación Filogenética APG (Angiosperm Phylogeny Group), incluyen a Chenopodiaceae dentro de Amaranthaceae como subfamilia. Especies bien conocidas de esta subfamilia son *Beta vulgaris* (remolacha), *Chenopodium quinoa* (quinua) y *Spinacia oleracea* (espinaca). Las principales diferencias entre Amaranthaceae y Chenopodiaceae son pétalos membranosos y estambres a menudo unidos en forma de anillo.

La quinua es clasificada taxonómicamente por **Gómez (2015)**: Reino: Plantae, división: Magnoliophyta, clase: Magnoliopsida, orden: Caryophyllales, familia: Amaranthaceae, sub familia: Chenopodioideae, tribu: Chenopodieae, género: Chenopodium, especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

El área de dispersión geográfica de la quinua es bastante amplia, no solo por su importancia social y económica, sino porque según Bukasov su centro de origen se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú (**Cárdenas, 1944**). Encontrándose allí la mayor diversidad de ecotipos tanto cultivados técnicamente como en estado silvestre.

Tanto **Mujica (1993)**, como **Tapia (1997)**, reconocen 5 grupos básicos, denominados por **Tapia (1982)**, como grupos agroecológicos, los cuales presentan características botánicas, agronómicas y de adaptación diferentes. Siendo estas quinuas del valle, subtropicales o de las Yungas (Bolivia), del Altiplano, de los Salares o de terrenos salinos y del Nivel del Mar.

La descripción botánica de la quinua nos dice que es una planta anual, con un periodo vegetativo que según la variedad está entre los 90 a 240 días, presentan un tamaño muy variable, puede medir desde 0.6 m. hasta 3.5 m. de altura, según los ecotipos, las razas y el medio ecológico donde se cultive, el color de la planta también es variable, desde el verde hasta el rojo pasando por el púrpura, con todas las gamas (**Tapia, 1997**).

La raíz es pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa, esto le da la característica de supervivencia ante condiciones adversas. Según **Quillatupa (2009)**, la profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta. Las ramificaciones y distribución de las raicillas varían con las variedades, el tipo y humedad del suelo (**Gómez y Aguilar, 2012**).

El tallo es casi cilíndrico en parte del cuello y anguloso desde el comienzo de las ramificaciones. Su diámetro puede variar desde 1 a 8 cm. La corteza del tallo está endurecida, mientras la médula es suave cuando las plantas son tiernas y secas con textura esponjosa cuando maduran, se pueden encontrar plantas con un solo tallo principal y ramas laterales muy cortas en los ecotipos del altiplano, o plantas con todas las ramas de igual tamaño en los ecotipos del valle (**Tapia, 1997**).

Las hojas son muy variadas, alternas simples, de coloración variada desde el verde al rojo. Las hojas basales son romboides, mientras las hojas superiores, generalmente alrededor de la inflorescencia, son lanceoladas (**Nelson, 1968** citado por **Tapia, 1997**). Las plantas jóvenes contienen en las hojas, y las inflorescencias, papilas ricas en oxalato de calcio de color blanco, rosado y púrpura (**Gómez, 2015**). Esta pubescencia le da la apariencia de estar cubierta con una arenilla brillante; este oxalato favorece la absorción y retención de humedad atmosférica, manteniendo turgentes las células (**Tapia, 1997**).

La inflorescencia es una panoja típica, formada por un eje central, ejes secundarios y terciarios que sostienen a los glomérulos (grupos de flores). En función a los glomérulos en las ramas de la inflorescencia se consideran tres tipos: las glomeruladas, amarantiforme e intermedia. La longitud puede variar de 15 a 90 cm y presenta diversos colores como verde, amarillo, naranja, rosado, rojo, granate, lila, negro y otros (**Gómez y Aguilar, 2012**).

Las flores son muy pequeñas y densas, pueden alcanzar hasta 3 mm; y pueden presentar flores hermafroditas (perfectas), generalmente terminales, femeninas o pistiladas rodeando a las hermafroditas (**Gómez y Aguilar, 2012**). Las flores permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días, y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días (**Heisser y Nelson, 1974; Mujica, 1992; Lescano, 1994**).

El fruto es un aquenio, tiene forma cilíndrica-lenticular, levemente ensanchado hacia el centro. Está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo, y contiene una sola semilla de coloración variable, la cual se desprende con facilidad a la madurez. La semilla constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal (**Mujica, 1997**). Según **Tapia (1990)**, el perigonio cubre a la semilla y se desprende con facilidad al frotarlo. El fruto está cubierto por el pericarpio y a su vez la semilla está envuelta por el epispermo. La saponina se encuentra en el

pericarpio. Según su contenido, la quinua se puede clasificar en dulce, semidulce, amarga y semi amarga (**Gómez y Aguilar, 2012**). El color del fruto está dado por el perigonio y se asocia directamente con el de la planta, donde resulta que puede ser verde, púrpura o rojo, el perigonio tiene forma de estrella porque presenta cinco pétalos. El pericarpio del fruto está pegado a la semilla, presenta alveólos y en algunas variedades se puede separar fácilmente. La semilla está envuelta por el episperma en forma de una membrana delgada. El embrión está formado por los cotiledones y la radícula, constituye la mayor parte de la semilla que envuelve al perisperma como anillo (**Gandarillas et al., 1979**)

El ciclo vegetativo de la quinua es de 5 a 8 meses, **Gómez y Aguilar (2013)** afirman que el ciclo de vida se alarga con la altitud del piso ecológico y con temperaturas bajas. **Canahua et al., (2001)**, menciona que la quinua pasa por 12 fases fenológicas para las condiciones y variedades de Puno. Así mismo, **Quillatupa (2009)**, determina los requerimientos de días para las fases y sub fases de accesiones estudiadas en La Molina (2007-2008), como lo muestra el Cuadro 3.

La quinua crece desde el nivel del mar en Perú (El Chira en Piura y Camaná en Arequipa) en los Andes del sur pero generalmente crece entre los 2500 y 4000 m de altura (**Mujica, 1993**). Las quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su periodo vegetativo y además presentan mayor potencial productivo (**Mujica et al., 2001**).

El pH del suelo debe ser neutro o ligeramente básico, aunque algunas variedades procedentes de suelos fuertemente alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y de Perú dan buenas producciones, demostrando así su carácter halófito; asimismo se han encontrado quinuas que prosperan en suelos de pH ácido (pH 4.5) en Michiquillay-Cajamarca (**Canahua et al., 2001** y **Tapia, 1997**). Además, las semillas germinan hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina (**Mujica et al., 2001**). **Gómez y Aguilar (2012)**, mencionan que el pH del suelo ideal, para la quinua es aquel cercano a la neutralidad, comercialmente se siembra en un rango de 4.5 de pH en valles interandinos del norte y a 8 de pH en el altiplano.

La quinua para crecer y desarrollarse requiere de suelos francos, poco arenosos o franco arcillosos; semi profundos, con alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas, de buen drenaje, porque la quinua es muy susceptible al exceso de humedad, sobre todo en los primeros estados. (**Mujica et al., 2001**). En cuanto al requerimiento de fertilización, para condiciones de costa y riego por gravedad, se recomienda que el

nitrógeno se fraccione en tres partes, una tercera a la siembra, la otra tercera al deshierbo y la última tercera parte en la floración. Esto permitirá un mejor aprovechamiento del nitrógeno y evita pérdidas por lixiviación, volatilización por las altas temperaturas, mientras que todo el fósforo y el potasio a la siembra (**Mujica et al., 2001**).

La quinua crece con precipitaciones desde 200 hasta 2600 mm anuales (**Mujica et al., 2001**), pero en general prospera con 250 a 500 mm anuales en promedio (**Canahua et al., 2001**). En general, la quinua crece bien con una buena distribución de lluvia durante su crecimiento y desarrollo; en tanto que durante la maduración y cosecha requiere condiciones de sequedad (**Mujica, 1993**).

**Cuadro 3: Resumen de los requerimientos de días para las fases y sub fases de accesiones estudiadas (La Molina 2007-2008).**

<b>Fases y sub fases</b>	<b>Promedio de días</b>
<b>0.0-0.9 GERMINACIÓN</b>	<b>4.63</b>
Emergencia	3.44
Hojas cotiledonales extendidas	4.63
<b>1.0-1.9 DESARROLLO VEGETATIVO</b>	<b>33.56</b>
Dos hojas verdaderas desplegadas	10.44
Cuatro hojas verdaderas desplegadas	16.63
Seis hojas verdaderas desplegadas	22.56
Ocho hojas verdaderas desplegadas	28.25
Diez hojas verdaderas desplegadas	33.56
<b>2.0-2.9 RAMIFICACIÓN</b>	<b>28.88</b>
<b>3.0-3.9 DESARROLLO DEL BOTÓN FLORAL</b>	<b>44.88</b>
Botón floral visible	33.94
<b>4.0-4.9 DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA</b>	<b>59.81</b>
Inicio de pirimidación	49.94
Pirimidación completa	59.81
<b>5.0-5.1 FLORACIÓN</b>	<b>76.88</b>
Inicio de floración	49.94
Plena floración	59.81
<b>6.0-6.1 ANTESIS</b>	<b>81.88</b>
<b>7.0-7.9 GRANO ACUOSO</b>	<b>100.44</b>
<b>8.0-8.9 GRANO LECHOSO</b>	<b>114.19</b>
<b>9.0-9.9 GRANO PASTOSO</b>	<b>135.94</b>
Grano pastoso suave (madurez fisiológica)	135.31
Grano pastoso duro (grano rayable con la uña)	135.94

**FUENTE: Quillatupa (2009).**

Una temperatura media anual de 10 a 18 °C y oscilación térmica de 5 a 7 °C son los más adecuados para el cultivo, la planta tolera más de 35 °C pero no prospera adecuadamente (**Mujica, 1993**). Temperaturas por encima de 38 °C producen aborto de flores, muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen y por lo tanto impidiendo la formación de granos (**Canahua et al., 2001**). El rango de temperatura óptimo para su desarrollo está alrededor de 18 a 25°C (**Gómez y Aguilar, 2012**).

La quinua produce bien en áreas cuya temperatura oscila entre 9 a 16°C, pudiendo soportar heladas de -5°C. La presencia de veranos prolongados, con altas temperaturas diurnas estimula la formación prematura de la panoja y su maduración, lo que se traduce en bajos rendimientos. Los sectores de alta iluminación solar son los más favorables para este cultivo, ya que ello contribuye a una mayor actividad fotosintética (**Suquilanda, 2007**)

Se deben evitar sectores excesivamente ventosos en vista de que son proclives a su rápida desecación y acame de las plantas; en determinados sectores del norte del país donde se cultiva quinua se aprovecha los fuertes vientos para ventear el grano después de la trilla (**Suquilanda, 2007**).

**Barnett (2005)**, concluyó que el llenado de grano en tres variedades y su relación con la temperatura está condicionada por las características genéticas, es así que las variedades Blanca de Hualhuas y Rosada de Huancayo que son propias de valles interandinos presentan rendimientos muy bajos, debido al efecto del clima del verano en costa, tanto variedad La Molina 89, que es del Altiplano, presenta características de rusticidad y adaptabilidad mayores.

Según la **FAO (2001)** citado por **Julón (2016)**, el cultivo de la quinua tiene los siguientes requerimientos medioambientales, los cuales se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4: Requerimientos medioambientales del cultivo de quinua.**

Requerimiento	Descripción
Suelo	Buen drenaje, textura franco-arenosa y pH neutro, la quinua es susceptible a altas humedades, especialmente en sus primeros estadíos.
Clima	Diversas zonas agroecológicas, genotipos adaptados a diferentes climas. Existen variedades de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Argentina, México y Europa.
Riego	3/4 de la capacidad de campo; se ha observado el mejor desarrollo a este nivel de humedad. 250-500 mm de lluvia anual; donde se cultiva en condiciones de secano (zona andina)
Humedad relativa	40-100%; susceptible a mildiu en condiciones de alta H.R.
Temperatura	15-20 °C
Fotoperiodo	Diversos regímenes de luz; genotipos adaptados a días cortos, largos e independientes al fotoperiodo.
Altura	0-4000 m.s.n.m.; se ha observado el mayor potencial productivo a nivel del mar (6 000 kg/ha)

**FUENTE: FAO (2001) citado por Julón (2016)**

Para la fecha de siembra se debe considerar la variedad, ubicación del campo e inicio y duración del periodo de lluvias (este último en áreas de secano). En la zona del altiplano la época de siembra se inicia en septiembre-octubre, y en los valles interandinos en noviembre a diciembre. Se recomienda que la maduración de la planta coincida con días libres de heladas, con sol para favorecer un buen secado y así evitar el manchado de granos (**Gómez y Aguilar, 2012**).

**Rivero (1985)**, indica que la quinua al poseer granos pequeños requiere de suelos bien preparados y nivelados con la humedad adecuada. Se busca que el suelo se encuentre en óptimas condiciones para recibir la semilla en el momento de la siembra. Para ello, luego de la preparación habitual, se pasa la rastra cruzada, luego el rodillo desmenuzador y finalmente niveladora. El surcado se realiza dependiendo del distanciamiento óptimo para cada variedad.

El distanciamiento de los surcos es variable y depende en parte de la disponibilidad de implementos adecuados para esta labor. Si la siembra será manual o con yunta, la distancia puede ser de 40 a 60 cm. Si el agricultor dispone de maquinaria agrícola y realizará labores posteriores con una cultivadora, las distancias pueden variar de 70 a 80 cm (**Gómez y Aguilar, 2012**). La siembra puede realizarse sembrando la semilla directamente al campo definitivo o mediante trasplante. El trasplante básicamente se usa para disminuir el costo de mano de obra al momento del desahije (**FAO, 2001** citado por

**Julón, 2016**). En condiciones de costa se usan 5-10 kg/ha colocando las semillas en el fondo del surco a chorro continuo y posteriormente cubriéndola con tierra a 1.5 cm de profundidad, evitando que quede enterrada (**Jacobsen y Mujica, 2002** citados por **Julón, 2016**). **Suquilanda (2011)**, menciona que el sistema de siembra más común, es en surco para facilitar las labores culturales. Para siembra en surco, ya sea manual o mecanizada, la cantidad de semilla requerida es de 10 a 15 kg/ha. Se recomienda sembrar en adecuada temperatura ambiental para obtener una buena germinación, entre los 15-20°C y la humedad del suelo en por lo menos  $\frac{3}{4}$  de la capacidad de campo (**FAO, 2001** citado por **Julón, 2016**).

Bajo irrigación, una vez que la semilla esté en el terreno se procede a realizar el primer riego, el cual debe humedecer lo suficiente para la imbibición de la semilla. Se ha intentado realizar la siembra en suelo húmedo, sin embargo, los resultados no han sido favorables debido al problema de enfermedades como la chupadera (**Echegaray, 2003**). El trasplante se puede realizar en suelo húmedo o ligeramente húmedo, pero se debe regar inmediatamente después de haberlo realizado, esto para asegurar un buen soporte de la planta (**Lena, 2006** citado por **Julón, 2016**).

El buen manejo de la quinua inicia con la utilización de una semilla de buena calidad, que será la base primordial para el éxito de la siembra y posterior desarrollo del cultivo. **Apaza (2006)** recomienda utilizar semilla certificada, que responda a una pureza varietal, es decir, que la semilla que utilizemos represente una variedad y no sea una mezcla. Dentro de los requisitos que debe reunir una buena semilla, **Gómez y Aguilar (2012)** refieren que la semilla debe de ser de pureza genética, física, de poder germinativo, vigor y estar libre de enfermedades que se transmiten a través de la semilla, además, deberá tener como mínimo 95% de poder germinativo.

En cuanto a la densidad de siembra, **Barahona (1975)** citado por **León (2017)**, probó tres diferentes densidades de siembra (8, 10, 20 kg/ha) con la variedades Sajama, Kancolla y Blanca de Juli. No hubo diferencias significativas entre los promedios de densidades de siembra. Sin embargo se obtuvieron los mayores rendimientos (kg/ha), con la menor densidad (8 kg de semilla/ha). Pero si hubo diferencias altamente significativas para la interacción densidad-variedad. Las variedades Sajama y Blanca de Juli obtuvieron los más altos rendimientos promedios, con la densidad de 8 kg/ha, en cambio la variedad Kancolla con la densidad de 10 kg/ha.

Según **Tapia (1990)**, la densidad varía de acuerdo a las condiciones climáticas, preparación de suelo, sistema de siembra y la calidad de las semillas. Se puede utilizar desde 4 kg/ha con una buena humedad en el suelo, siembra en surcos y con una semilla con alto valor de germinación. En la sierra se recomienda emplear 10 kg de semilla por ha. Con un distanciamiento entre surco de 70 cm y luego dejar de 15 a 20 plantas por metro lineal, con el fin de darle la densidad adecuada y eliminar plantas atípicas o débiles, obteniendo en campo unas 80 000 a 100 000 plantas por hectárea.

**León (2003)**, menciona que en la sierra y especialmente en el altiplano puneño es de 4 a 6 kg/ha de semilla seleccionada, procedente de semilleros. Las adversidades de clima y falta de humedad pueden disminuir el porcentaje de germinación y lógicamente la emergencia.

El desahíje o raleo es una actividad o labor que permite eliminar las plantas más pequeñas, débiles o de malas condiciones, que no permiten el desarrollo adecuado de las plantas de mejores condiciones. Se realiza cuando las plantas tienen entre 20-60 cm de altura, dejando unas 15-20 plantas por metro lineal. Se recomienda hacerlo en forma manual, para no dañar las plantas (**Flores et al., 2010** citados por **León, 2017**). Esta labor es muy importante, ya que en la siembra del cultivo de quinua se utiliza una gran cantidad de semillas, la cantidad de plantas emergentes es alta, trayendo como consecuencia el enanismo de las plantas debido a un retraso en su crecimiento y desarrollo, esto es efecto de la competencia por luz y nutrientes. Esta labor consiste en retirar del campo las plantas sobrantes o en exceso (débiles, enfermas o pequeñas) y dejar las plantas más vigorosas, las cuales darán la producción final. Se estima un total de 25-50 plantas/m, de acuerdo a la densidad de plantas deseadas (**Jacobsen y Mujica, 2002** citado por **Julón, 2016**).

El aporque se realiza inmediatamente después del deshierbo y el raleo, así mismo, permite cubrir el abono nitrogenado aplicado entre franjas de plantas (**Gómez y Aguilar, 2012**). Esta labor es necesaria para sostener la planta, sobre todo en los valles interandinos donde la quinua crece en forma bastante exuberante y requiere acumulación de tierra para mantenerse de pie y sostener las enormes panojas que se desarrollan, también de este modo se evita el tumbado de las plantas por los vientos. Generalmente se recomienda un buen aporque antes de la floración y junto con la fertilización complementaria, lo que permitirá un mayor enraizamiento y por lo tanto mayor sostenibilidad (**SESAN, 2013**).



El deshierbo se realiza para evitar la competencia entre el cultivo y la maleza, fundamentalmente por agua, luz, nutrientes y suelo. Es importante mantener los campos libre de malezas, ya que estas soportan mejor las condiciones adversas, son hospederas de plagas y además permitirá el uso y aplicación más eficiente de los nutrientes y abonos. El número de deshierbos va a depender de la población de malezas que tenga el cultivo, recomendándose hacerse el primer deshierbo cuando las plantas de quinua alcancen 20cm de altura; el segundo deshierbo debe realizarse cuando las plantas alcancen una altura de 30 a 35 cm (**León, 2003**).

La cosecha se realiza una vez que las plantas llegan a la madurez fisiológica, reconocible porque las hojas inferiores cambian de color y empiezan a caerse, dando una coloración amarilla característica a toda la planta. El grano, al ser presionado con las uñas ofrece resistencia, dificultando la penetración. Para llegar a esta fase transcurren entre 5 a 8 meses, según el ciclo vegetativo de las variedades (**Tapia, 2000**). Es conveniente asegurarse de la maduración para determinar la fecha de cosecha, ya que al adelantarla y exponerla a lluvias tardías, se corre el riesgo de fermentaciones en las parvas, que oscurecen el grano. Si por el contrario se realiza muy tarde, se desgrana fácilmente (**Tapia, 2000**).

Esta labor depende de las condiciones climáticas de cada zona, si la lluvia se retrasa, también se posterga el inicio de la cosecha, sobre todo la siega, en caso contrario las temperaturas secas aceleran la maduración del grano y se urge hacer cosechar (**Suquilanda, 2011**). La cosecha es una labor de mucha importancia en el proceso productivo, de ella depende el éxito para la obtención de la calidad comercial del grano. La cosecha puede realizarse de forma manual, manual-mecánica o mecánica (**Gómez y Aguilar, 2012**). Para realizar la cosecha manual, las plantas no deben estar sobre maduras, esto para evitar pérdidas de grano en el proceso. **Gómez y Aguilar (2012)**, mencionan que existen cinco etapas para realizar la cosecha manual: siega, secado, trillado, venteado y limpieza y secado.

Para poder caracterizar la calidad del grano de quinua es necesario realizar pruebas cuantitativas en laboratorio. Entre las pruebas más importantes para quinua se tiene a la evaluación del contenido de saponinas y contenido de proteínas. Entre los métodos más conocidos se encuentran el Método Kjeldahl; el cual consiste de tres etapas. La primera etapa se denomina digestión, en la cual se “digiere” una muestra de quinua en una mezcla

de catalizador sal-ácido. La segunda etapa consiste en agregar álcali a esta mezcla y llevar a cabo una destilación básica de amonio. En tercer y último lugar, se realiza una determinación utilizando una titulación colorimétrica (**Jan-Ake, 1994** citado por **Arias, 2002**).

De otro lado, la evaluación del contenido de saponinas se puede realizar a través del método afrosimétrico mecánico. Este consiste en emplear un dispositivo agitador mecánico desarrollado por **Bálsamo (2002)**, citado por **Julón (2016)**. Este aparato actúa sobre muestras de granos de quinua, las cuales ante la agitación generan espuma, cuya altura, al encontrarse la muestra en el interior de tubos de ensayo, es medible y está en relación con el contenido de saponinas de cada muestra. Esta metodología fue propuesta por **Kosiol (1990)**.

## **2.2 RESPUESTA DE LA QUINUA AL NIVEL NUTRICIONAL**

En la fertilización, los requerimientos nutritivos de la planta de quinua por los elementos minerales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio son muy importantes, pues la planta extrae del suelo en cantidades relativamente medias, así para producir 5000 kilos/ha de materia seca (grano, broza, más jipi) extrae del suelo 65, 15,126, y 11 kg/ha de N, P, K, Ca, Mg respectivamente (**AGROBANCO, 2012**). Para la fertilización, Mujica et al. (2001), recomienda una fórmula de 240-200-80, fraccionando el nitrógeno en tres partes: siembra, deshierbo y floración. Esto para suelos pobres en nutrientes, además incorporar abonos orgánicos. Las fuentes de nutrientes pueden ser fertilizantes sintéticos como: urea, fosfato di amónico, superfosfato triple, etc., y fertilizantes orgánicos como: guano de islas, estiércol, residuos de cosecha, humus de lombriz, compost y otros (**Gómez y Aguilar, 2012**).

### **Nitrógeno**

El nitrógeno uno de los 16 elementos esenciales para las plantas (nutrientes que son imprescindibles para el crecimiento de las plantas), y además uno de los consumidos en mayor cantidad, no solo se requiere para la obtención de proteínas sino que cualquier producción agraria lo requiere en cantidades importantes. La obtención de hidratos de carbono, grasas o fibra queda también limitada por la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos. Un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos

vegetativos y un intenso color verde. Cantidades excesivas de nitrógeno pueden, bajo ciertas condiciones, prolongar el periodo de crecimiento y retrasar el de madurez. Esto ocurre más frecuentemente cuando no se suministran cantidades adecuadas de los otros elementos nutritivos, (**Tisdale, 1991**). Asimismo, afirma que la respuesta del cultivo al aporte de fertilizantes nitrogenados es muy variable con las condiciones climáticas, sinergias y antagonismos con otros nutrientes o estado general del suelo, técnicas de cultivo e incluso, exigencias de la variedad cultivada.

**Bídwel (1993)**, afirma que el nitrógeno tiene un lugar especial en la nutrición vegetal, no solo debido a su elevado requerimiento por las plantas sino porque está casi completamente ausente en la roca madre del cual se forman los suelos. Asimismo, un deficiente suministro de nitrógeno se traduce en una planta de desarrollo vegetativo, mostrando un follaje verde amarillento que provoca madurez prematura de la planta y que finalmente produce un bajo rendimiento. Como el nitrógeno se encuentra presente en muchos compuestos esenciales, no sorprende en absoluto que el crecimiento sea lento si no se añade nitrógeno. (**Salisbury y Ross, 2000**). El nitrógeno, más que cualquier elemento, facilita el crecimiento rápido y el color verde oscuro de las hojas y suscita el crecimiento vegetativo de tallos y hojas más que el desarrollo de flores y frutos, (**Plaster, 2000**). El nitrógeno es absorbido del suelo bajo forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento (**FAO, 2002**).

La deficiencia de nitrógeno presenta síntomas variados; el rendimiento de un cultivo disminuye incluso sin la manifestación sintomática. El primer síntoma que se presenta es la clorosis, tomando la planta una coloración amarillenta. Estos síntomas se presentan primero en las hojas viejas que traslocan sus fotosintatos a las hojas jóvenes; posteriormente los síntomas pasan a las hojas en crecimiento activo, comenzando desde el ápice hacia la base indicando que la deficiencia es grave (**Salgado et al., 2006**). La deficiencia de nitrógeno ocasiona planta de crecimiento lento, clorosis generalizada, las hojas más viejas son las primeras en presentar los síntomas, porque el nitrógeno se trasloca de hojas maduras a las jóvenes (**Morales, 2012**).

## **Fósforo**

De otro lado, el fósforo es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta (FAO, 2002). Interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos (síntesis y respiración), los meristemas (puntos de división celular), semillas y frutos (Mengel y Kirkby, 2000; Rodríguez, 1982 citado por Salgado *et al.*, 2006). Estimula el desarrollo de las raíces, favorece la floración y cuajado de frutos, interviniendo en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía. Es considerado un factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración (García *et al.*, 2009).

En los primeros estadios de crecimiento vegetativo es de gran importancia que las plantas encuentren en el suelo cantidades suficientes de fósforo en forma fácilmente asimilable para el potencial de rendimiento, además, las pequeñas raíces todavía no pueden llegar a las reservas de fósforo del suelo, y compiten con desventaja con la materia orgánica en su aprovechamiento. El fósforo es importante en la absorción de raíces y una adecuada floración. Una falta de este elemento durante la primera fase del desarrollo vegetativo puede producir efectos irreversibles que se dejarán sentir después por una deficiente formación de órganos de reserva. La madurez suele retrasarse en comparación con lo que sucede en las plantas que contienen fosfato en abundancia. En muchas especies el fósforo y el nitrógeno interactúan estrechamente afectando a la madurez de modo que el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fosforo la acelera, (Salisbury y Ross, 2000). La deficiencia de fósforo, produce lento crecimiento y desarrollo de la planta, floema y xilema poco desarrollado, menor peso y tamaño del fruto, pobre floración y por ende, pobre fructificación, retraso de la madurez y las hojas toman una coloración verde oscura y a veces con matices rojizos (Salgado y Nuñez, 2010). Según Morales (2012), la deficiencia en fósforo ocasiona que las hojas tomen color azulado, morado y/o parduzco y el desarrollo de las raíces muy deficiente.

## **Potasio**

Según **Tisdale (1991)**, a diferencia del nitrógeno, azufre, fósforo y varios otros, el potasio no forma parte integral de los compuestos de la planta tales como protoplasma, grasa y celulosa. Su función parece más bien de naturaleza catalítica. A pesar de esto, es imprescindible para las siguientes funciones fisiológicas: Metabolismo de los hidratos de carbono o formación y transformación del almidón, metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteína, control y regulación de las actividades de varios elementos minerales esenciales, neutralización de los fisiológicamente importantes ácidos orgánicos, activación de varias enzimas, promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos y ajustes de la apertura de los estomas y relaciones con el agua.

El potasio es el encargado de activar más de 60 enzimas, por ellos juega un papel importante en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. Mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas mejor provistas con potasio, sufren menos de enfermedades (**FAO, 2002**). El potasio sirve para regular el potencial osmótico celular, interviene en la síntesis de azúcares y almidón, transporte de azúcares y síntesis de proteínas. La falta de potasio ocasiona reducción general del crecimiento, menor calidad del fruto, las hojas presentan amarillamiento en los márgenes que luego se necrosan, las partes más afectadas son las que acumulan fotosintatos de reserva (frutos, semillas, tubérculos), (**Salgado y Nuñez, 2010**). Las plantas absorben el potasio (K) por vía radicular a partir de la solución suelo. La absorción radicular puede efectuarse por contacto directo, por flujo de masas (evapotranspiración) y por difusión, siendo el último mecanismo más importante en la nutrición de los cultivos, y mientras que la plántula no extrae grandes cantidades, la velocidad de absorción alcanza su valor máximo tres semanas antes de la floración, (**Bartolini, 1989**).

## **Calcio**

El calcio es constituyente de las membranas celulares y actúa como cofactor de varias enzimas (**Barcelló, 1980**). Una alta proporción de calcio se localiza en las paredes celulares, existiendo dos áreas con altas concentraciones de este elemento: lámina media y superficie exterior de la membrana plasmática. En ambas áreas, el calcio tiene función estructural, específicamente regulando la permeabilidad y los procesos relacionados al fortalecimiento de las paredes celulares. La proporción de pectatos de calcio en la pared celular es importante ya que determina la susceptibilidad a infecciones fúngicas y a la

madurez del fruto (**Marschner, 1997**). El calcio es un catión divalente relativamente grande cuyo ingreso al apoplasto se realiza en forma pasiva (sin gasto de energía). La movilidad de este elemento en el medio celular y entre células es restringida, encontrándose mayormente acomplejado en estructuras de la pared y membrana celular, formando enlaces que responden a las variaciones medioambientales. No es tóxico, aún en altas concentraciones, por el contrario el calcio actúa como agente detoxificante, paliando los efectos estresantes de altas concentraciones de elementos minerales en las plantas (**Marshner, 1997**).

El calcio es un componente de la pared celular, desempeña un papel en la estructura y permeabilidad de las membranas (**Salgado et al., 2006**). La deficiencia de calcio se caracteriza por una reducción en el crecimiento de los tejidos meristemáticos los cuales se deforman y se ponen cloróticos. El tejido afectado se ablanda debido a la ruptura de las paredes celulares, colapsando las células de la parte distal del fruto y/o presentando manchas necróticas (**Mengel y Kirkby, 1978**). La deficiencia de calcio, se presenta con un crecimiento normal hasta el estado adulto, entonces aparece una clorosis generalizada que se inicia en el ápice de la planta. Las hojas se arquean ligeramente y muestran una formación de corcho en las nervaduras (**Tapia et al., 1979** citado por **León, 2017**). Según los estudios realizados por **Mujica (1997)**, la clorosis se inicia en el ápice y bordes de las hojas adultas, la hoja presenta ligero encarrujamiento, defoliación prematura de las hojas basales. En el tercio inferior se observan ramitas pequeñas de hojas apretadas y deformadas.

## **Hierro**

El hierro es esencialmente inmóvil en la planta, debiendo ser enviado de modo continuo a través del xilema a los nuevos tejidos. En sentido descendente, se mueve a través del floema en forma de citrato (**Domínguez, 1997**). El hierro es necesario para la síntesis de la clorofila y es una parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Forma también parte esencial de la ferredoxina y posiblemente de la nitrato reductasa, activando también algunas otras enzimas. (**Resh, 1987**). Actúa como catalizador (con el manganeso) en la formación de la clorofila, como portador de oxígeno y en numerosos sistemas enzimáticos, especialmente respiratorios. Debido a que el hierro no se trasloca dentro de la planta los síntomas aparecen en las hojas jóvenes produce hojas de color verde pálido (clorosis intervenal) con una marcada distinción entre venas verdes y las entrevenas amarillas. El crecimiento de las plantas se retarda si la deficiencia es severa.

## **Manganeso**

El manganeso es importante especialmente en la formación de la clorofila. (**Gross, 1992**). Es absorbido como catión  $Mn^{2+}$  por la planta. El manganeso contenido en los suelos es originado por la descomposición de las rocas ferro-magnesianas. En los suelos no es común la deficiencia de Mn, se pueden presentar en suelos calcáreos ricos en humus. (**Barceló et al., 1995**). Es importante porque participa en la ruptura de la molécula de agua durante la fotosíntesis. También es importante porque es activador de diversas enzimas. Asimismo juega un rol estructural en el sistema de la membrana del cloroplasto. Se desplaza dentro de la planta. Los primeros síntomas de deficiencia es clorosis intervenla en las hojas jóvenes seguidos de lesiones necróticas también en las zonas intervenales. En algunos suelos una condición extremadamente ácida puede dar como resultado toxicidad para los cultivos a causa de su presencia en cantidades excesivas (**Barceló et al., 1995**). Es absorbido y traslocado en la planta como ion divalente. Forma parte de sistemas enzimáticos y activas funciones metabólicas. Es constituyente estructural de proteínas. Su principal función está ligada a la evolución de oxígeno en la fotosíntesis. Los síntomas de deficiencia son frecuentemente similares a la falta de hierro. Hojas con manchas amarillas, rojas o cafés con la presencia de nervaduras verdes. El manganesos controla varios sistemas de oxidación-reducción, en la formación de  $O_2$  en la fotosíntesis (**Salgado et al., 2006**). Está ligado al hierro en la formación de clorofila, además participa en el metabolismo de los hidratos de carbono (**García et al., 2009**)

## **Zinc**

El zinc, activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa. Es preciso para la formación de la hormona del ácido indolacético (**Resh, 1987**). Está relacionado con la actividad de las hormonas de crecimiento: las auxinas. Su falta provoca una disminución marcada del efecto de estas hormonas. Es requerido para la síntesis de aminoácido Triptófano el cual es el precursor del ácido indolacético (AIA) que es la principal hormona en la planta. Participa en la activación de enzimas (**Barceló et al., 1995**). El Zinc es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas y activar algunos sistemas enzimáticos. Cumple funciones en la síntesis de la clorofila y en la formación de hidratos de carbono, es esencial en la producción de materiales genéticos. El Zn no es traslocado en las plantas, de ahí que sus síntomas de deficiencia aparezcan primero en las hojas más jóvenes y en yemas de crecimiento activo.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

##### **3.1.1 LUGAR DEL EXPERIMENTO**

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Riegos perteneciente al Departamento Académico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La ubicación geográfica es la siguiente: Latitud: 12° 05' 06', Longitud: 76° 57' W, Altitud: 238 msnm.

##### **3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

El suelo donde se estableció el experimento está clasificado a nivel de gran grupo según Taxonomía de Suelos (2014) como un Ustifluvents (Entisols de origen fluvial y régimen de humedad Ustic) y se encuentra ubicado en una terraza media del valle del Rímac. Presenta tres horizontes de límites graduales definidos como Ap – C1 – 2C2, de profundidad variable, que se generalizan para los suelos de la Serie La Molina.

El análisis de caracterización del suelo fue realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 5, el cual indica que el suelo pertenece a la clase textural franco-arenoso, con pH moderadamente básico (7.9), con conductividad eléctrica moderadamente salino, con CIC bajo, bajo contenido de materia orgánica y por tanto de nitrógeno disponible, contenido de fósforo y potasio disponible, alto y medio respectivamente. En general es un suelo de fertilidad potencial baja. Las relaciones catiónicas Ca/Mg=2.9, Ca/K=13.8 y Mg/K=4.8 indican que el magnesio se encuentra por encima del nivel de equilibrio, por tanto, se puede esperar respuesta positiva a la fertilización con calcio y con potasio.

##### **3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA**

El agua utilizada para el riego proviene de la red de agua de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



En el Cuadro 6, se presenta los resultados del análisis, realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM. Se observa que el agua utilizada es altamente salina, con una conductividad eléctrica de 3.33 dS/m. Por ello el agua es clasificada como C4, este tipo de agua solo se usa en casos muy especiales, donde los suelos son muy permeables, con buen drenaje, con cultivos muy resistentes a la salinidad y con sistemas localizados de riego, que por micro lixiviación pueden permitir una zona de raíces relativamente baja en sales. Presenta baja alcalinidad-RAS: 3.9 (S1). En los resultados también se observa elevado riesgo de toxicidad para los cultivos, ya que presenta un elevado nivel de iones sodio y cloruros (>10 meq/l), es posible utilizarla en suelos con buen drenaje, empleando mezclas de agua, volúmenes suplementarios de agua para el lavado del suelo. Finalmente, presenta un nivel alto de bicarbonatos, que pueden generar problemas de obturación de emisores, al precipitar calcio y magnesio.

#### **3.1.4 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS**

Según el sistema de modificación de koppen-Geiger-Poht, basado en promedios anuales de precipitación y de la temperatura. Le corresponde a la Molina la clasificación de Desierto Sub tropical árido caluroso. El Cuadro 7, muestra los registros climatológicos de la estación meteorológica “Alexander Von Humboldt” de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de Junio a Noviembre del 2015, periodo durante el cual se desarrolló el cultivo.

Los datos del cuadro son característicos de la Costa central peruana, con lluvias casi inexistentes, niveles altos de humedad y nubosidad.

#### **3.1.5 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD DE QUINUA EN ESTUDIO**

**Timaná (1992)** señala que la variedad La Molina 89 ha sido seleccionada de un material colectado en el altiplano por su precocidad, buen rendimiento y tipo de planta.

Esta variedad está caracterizada como precoz (130 días hasta la maduración total), no presenta ramificación, tiene una sola panoja por planta, que es de tipo amarantiforme, compacta, de aprox. 36 cm. De longitud y de 7-9 cm de diámetro, con granos de color crema; la planta mide en promedio 1.3 m de longitud. Se sabe que presenta tolerancia al mildiu (**Tapia 2003** y **Apaza, 1995**) y también resistencia a esta enfermedad (**Ortiz et al., 2001**).

### 3.1.6 MÓDULO DE RIEGO POR GOTEO

Matriz:

- 2 válvulas de 1 pulg. (llaves de control e ingreso de fertilizante).
- 22 m de tubería principal PVC de 1 pulg.
- 1 filtro de anillos de ¾ pulg.
- 1 contómetro de agua tipo reloj.
- 12 micro-válvulas de 16 mm de diámetro.

Laterales:

- 156 m. de laterales de goteo de 16 mm (PE).
- 384 goteros autocompensados Katiff de 2.1 l/h.
- 12 conectores de salida.
- 12 terminales de línea.

Otros:

Fase de campo: Mochila de fumigación, cámara fotográfica, balanza electrónica de precisión, libreta de campo, insecticidas y fungicidas, bolsas plásticas, lápiz, cartulina y tijeras, palas, pico, rastrillo y serrucho, cinta métrica y wincha, cordeles, letreros, guantes, implementos de seguridad para aplicación de agroquímicos.

Fase de laboratorio: Estufa, vernier, bolsas de papel kraft, tamices, tubos de ensayo con tapa, porta tubos, balanza digital sensible al 0.01 g, regla sensible al 0.1 cm, agua destilada, probeta, cronómetro, afrosímetro, cámara digital, bandejas plásticas.

**Cuadro 5: Análisis de caracterización de suelo**

Determinación	Unidad	Valor
C.E.e	dS/m	6.4
Arena	%	61
Limo	%	22
Arcilla	%	17
Clase textural	-	Franco Arenoso
pH (1:1)	-	7.91
CaCO <sub>3</sub>	%	3.50
M.O.	%	0.88
P	ppm	22.9
K	ppm	202
CIC	meq/100g	9.60
Ca <sup>2+</sup>	meq/100g	6.21
Mg <sup>2+</sup>	meq/100g	2.17
K <sup>+</sup>	meq/100g	0.45
Na <sup>+</sup>	meq/100g	0.77

**FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes UNALM**

**Cuadro 6: Análisis de caracterización de agua**

Variable	Unidad	Valor
pH	-	7.7
C.E.	dS/m	3.33
Calcio	meq/l	16.5
Magnesio	meq/l	4.92
Sodio	meq/l	12.91
Potasio	meq/l	0.27
<b>Suma de Cationes</b>		<b>34.60</b>
Nitrato	meq/l	0.85
Carbonatos	meq/l	0.00
Bicarbonato	meq/l	1.84
Sulfatos	meq/l	9.48
Cloruros	meq/l	23.00
<b>Suma de Aniones</b>		<b>35.27</b>
Sodio	%	37.31
RAS	-	3.95
Boro	ppm	1.01
<b>Clasificación</b>		<b>C4-S1</b>

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes UNALM

**Cuadro 07: Datos climatológicos promedios de La Molina. Periodo experimental junio - noviembre 2015**

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación mensual (mm)	Humedad relativa media mensual (%)	Eto tanque A (mm/día)	Heliofanía (horas/día)	Radiación Circunglobal (Ly/día)
	Máxima	Mínima	Media					
Junio	22.8	16.9	18.7	0.8	80.56	1.29	1.95	75.4
Julio	19.9	15.2	16.8	1.1	81.43	1.61	2.28	89.5
Agosto	20.3	14.8	16.8	1.5	81.25	1.76	0.99	84.1
Setiembre	21.7	15.3	17.6	3.7	80.31	1.94	4.95	117.9
Octubre	22.8	16.2	18.6	2.0	79.75	2.14	4.38	151.3
Noviembre	22.9	16.6	18.9	2.7	79.33	2.05	2.41	135.7
<b>MEDIAS</b>	<b>21.7</b>	<b>15.8</b>	<b>17.9</b>	<b>2.0</b>	<b>80.4</b>	<b>1.80</b>	<b>2.83</b>	<b>109.0</b>

**FUENTE:** Estación “Alexander Von Humboldt”. Elaboración propia

### 3.1.7 FUENTES DE FERTILIZANTES

**Cuadro 8: Fuentes de fertilizantes y su contenido en nutrientes**

Elemento	Fuentes de nutrientes	Contenido de nutrientes (%)						
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe	Mn	Zn
N	Nitrato de Amonio	33.5						
P	Fosfato Monoamónico	12	61					
K	Sulfato Potásico			50				
Ca	Nitrato de Calcio	15.5			26			
Fe	Sulfato Ferroso Pentahidratado					20		
Mn	Sulfato de Mn						31	
Zn	Sulfato de Zinc							22.3

**FUENTE: Elaboración propia.**

## 3.2 METODOLOGÍA

En el experimento se evaluó tres densidades de siembra en quinua var. La Molina 89, D1:160,000, D2:120,000, D3:80,000 plantas/ha, en riego por goteo, con plantas distanciadas de acuerdo a la población deseada, siendo 5 cm, 6.7 cm y 10 cm respectivamente. El sistema de propagación fue de siembra directa, depositando 4 semillas por golpe, luego de la labor de desahíje se dejó una planta por golpe.

Para los niveles de nutrientes se probaron 4 niveles nutricionales: sin fertilizar o testigo (N0), NPK (N1), NPK + Ca (N2) y NPK + Ca + Microelementos (N3); siendo estándar el nivel de nitrógeno, fósforo y potasio (160-80-160 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), para el caso del calcio se aplicaron 80 kg/ha de CaO y para los microelementos 12, 8 y 6 kg/ha de Fe, Mn y Zn respectivamente.

El campo experimental constó de 12 camas distanciadas una de la otra en 1.25 m. entre laterales de riego. Cada cama de producción fue irrigada con un lateral de riego con goteros insertados a 30 cm. Cada cama tuvo una longitud neta de 7.20 m.

### 3.2.1 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Se realizó un lavado de suelos del área experimental para evitar en lo posible la moderada salinidad del suelo por uso de agua de riego de salinidad elevada y la interacción del efecto residual de ensayos anteriores.

Se limpió los laterales de riego y emisores, donde se eliminó los precipitados de las mangueras y goteros realizando un remojo y lavado en lejía al 3 % de todo el material durante una semana, después fueron enjuagados y devueltos al campo. La zona de cultivo

fue trabajada a una profundidad de 40 cm, una vez desterronado y mullido se procedió luego a levantar las camas a una altura de 15 cm aproximadamente, las cuales fueron niveladas y uniformizadas con rastrillo. Finalmente, se procedió a la demarcación de subparcelas y calles con ayuda de wincha, cordeles y estacas.

La siembra se realizó el 19 de junio del 2015, esta siembra fue directa depositando 4-5 semillas por golpe, el distanciamiento entre plantas estuvo en relación con las densidades en estudio. Las semillas se desinfectaron con Homai W.P. (Thiophanatemethyl + Thiram) a dosis de 2 g/kg de semilla la cual fue depositada aproximadamente a 1.5-2 cm de profundidad.

El nivel de fertilización fue de 160-80-160 kg/ha de NPK, Ca 80 kg/ha y Microelementos 12, 8 y 6 kg/ha de Fe, Mn y Zn respectivamente. Cada fuente de fertilizante fue solubilizada, para ser aplicado. La fertilización se aplicó de forma fraccionada en 10 oportunidades para el nitrógeno, 4 para el fósforo y en 10 oportunidades para el potasio durante la fase vegetativa del cultivo, según los niveles de fertilización en estudio. El número de aplicaciones de Calcio fue de 6 y 5 aplicaciones en el caso de Fe, Mn y Zn.

Cabe resaltar que las aplicaciones para el calcio, fósforo y microelementos (Fe, Mn y Zn) se dieron de forma separada en el tiempo, es decir, en un mismo día no coincidieron las aplicaciones de estos. Las aplicaciones fueron programadas a frecuencia semanal.

Todas las parcelas del experimento fueron regadas de forma homogénea, para tener un control del riego se realizó el registro de la lectura del caudalímetro instalado al inicio del módulo de riego. Cuadro 9.

En el desahije se dejó 1 planta por golpe, esta labor se efectuó junto al primer deshierbo y el primer aporque, realizándose manualmente todas las labores a los 25 DDS. Se realizaron tres aporques, el primero junto al desahije y al deshierbo, el segundo antes de la floración (50 DDS) y el tercero en el llenado de grano (100 DDS), con la finalidad de evitar el tumbado de las plantas debido al tamaño alcanzado.

Se realizaron dos aplicaciones fitosanitarias para el control de plagas y enfermedades durante el desarrollo del cultivo, se aplicó Fitoklin (Metalaxyl) para el control de mildiu (*Peronospora variabilis*), Cipermax Super 10 CE (Alfacipermetrin) para el control de gusanos comedores de follaje (*Spodoptera spp*). La incidencia de plagas y enfermedades

fue baja, por lo que no fue necesario realizar continuas aplicaciones, sólo se hicieron de manera preventiva.

Durante la etapa de llenado y maduración de grano se tuvo ataque de aves, por lo que fue necesario colocar una malla protectora en todo el campo experimental, a modo de control, para evitar que causen daños en cuanto a la calidad de grano y producción.

La determinación de peso seco, área foliar, medición de altura de planta, diámetro de tallo, longitud y diámetro de panoja se realizó a los 130 DDS.

El cierre del sistema de riego se realizó a los 139 DDS, siendo este el último riego.

La cosecha y conteo de plantas se realizó entre los 155 a 158 DDS en forma manual, en cada subparcela y consistió en el corte de las plantas, luego de ello se dejaron en el campo para que sequen completamente y después se procedió a la trilla, limpieza, venteo y finalmente se guardaron dentro de bolsas de papel kraft, debidamente rotuladas.



**Cuadro 9: Programación del régimen de riego del experimento**

Etapa del Cultivo	Estado Fenológico	Fecha	Ciclo Vegetativo (días)		Eo (mm/día)	Kc	ETC (mm/día)	Requerimiento de Riego	
			Parcial	Acumulados				Neto (mm)	Total (m <sup>3</sup> /ha)
apertura del sistema		18-jun	-1					11.04	122.66
Siembra		19-jun	0	0					
Germinación	Emergencia total de las semillas	23-jun	4	4	1.29	0.32	0.41	1.65	18.35
Desarrollo vegetativo	Dos hojas verdaderas desplegadas	04-jul	11	15	1.61	0.69	1.11	12.22	135.77
	Cuatro hojas verdaderas desplegadas	09-jul	5	20	1.61	0.71	1.14	5.72	63.50
	Seis hojas verdaderas desplegadas	14-jul	5	25	1.61	0.75	1.21	6.04	67.08
Desarrollo , reproducción y polinización	Desarrollo del botón floral	16-jul	2	27	1.61	0.87	1.40	2.80	31.11
	Desarrollo de la inflorescencia	20-jul	4	31	1.61	0.89	1.43	5.73	63.68
	Floración	16-ago	27	58	1.76	0.99	1.74	47.04	522.72
	Antesis	04-sep	19	77	1.94	1.12	2.17	41.28	458.70
Llenado de granos	Grano acuoso	11-sep	7	84	1.94	1.16	2.25	15.75	175.03
	Grano lechoso	01-oct	20	104	2.14	0.82	1.75	35.10	389.95
Cierre del sistema	Grano pastoso	05-nov	30	134	3.05	0.69	2.10	63.14	701.50
Cosecha	Madurez fisiológica	21-nov	21	155					
<b>TOTAL Y/O PROMEDIOS</b>								247.51	2750.05

*Riego por goteo: Eficiencia de riego 90%*

### 3.2.2 FACTOR EN ESTUDIO

**Cuadro 10. Densidades de siembra**

Poblaciones de plantas		
Número de plantas/Ha	Clave	Espaciamiento entre plantas (cm)
160,000	D1	5.00
120,000	D2	6.70
80,000	D3	10.00

FUENTE: Elaboración propia

**Cuadro 11. Niveles nutricionales:**

Tratamiento	Clave	Macroelementos kg/Ha				Microelementos kg/Ha		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe	Mn	Zn
Testigo	T0	0	0	0	0	0	0	0
NPK	T1	160	80	160	0	0	0	0
NPK + Ca	T2	160	80	160	80	0	0	0
NPK+Ca+Micro	T3	160	80	160	80	12	8	6

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue el de parcelas divididas. Los niveles nutricionales en estudio fueron asignados aleatoriamente a nivel de las subparcelas dentro de cada parcela completa. Las densidades de siembra fueron asignadas aleatoriamente a nivel de parcelas dentro de cada bloque, con cuatro repeticiones. El análisis de variancia y las diferencias de medias se realizaron a través de la aplicación del software estadístico InfoStat (Versión 2007e).

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \gamma_{jjk} + (T\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

**Y<sub>ijk</sub>** = Es el rendimiento obtenido con el K-ésimo nivel nutricional, i-ésima densidad de siembra en el j-ésimo bloque

**μ** = Es el efecto de la media en general.

**T<sub>i</sub>** = Es el efecto de la i – ésima densidad de siembra.

$\beta_j$  = Es el efecto de la j – ésimo bloque.

$(T\beta)_{ij}$  = Es el efecto del error experimental de la i–ésima densidad de siembra en el j–ésimo bloque.

$\gamma_{jk}$  = Es el efecto de la interacción del k–ésimo nivel nutricional, i–ésima densidad de siembra en el j–ésimo bloque.

$(T\gamma)_{ik}$  = Es el efecto de la interacción de la i–ésima densidad de siembra y k–ésimo nivel nutricional.

$\epsilon_{ijk}$  = Es el efecto del error experimental del k–ésimo nivel nutricional, i–ésima densidad de siembra en el j–ésimo bloque.

### 3.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

a. Del Campo Experimental

Largo efectivo	7.20 m
Ancho efectivo	15.0 m
Área efectiva	108.0 m <sup>2</sup>

b. Del bloque

Largo efectivo	7.20 m
Ancho efectivo	3.75 m
Área efectiva	27.0 m <sup>2</sup>
Número de bloques	4.00

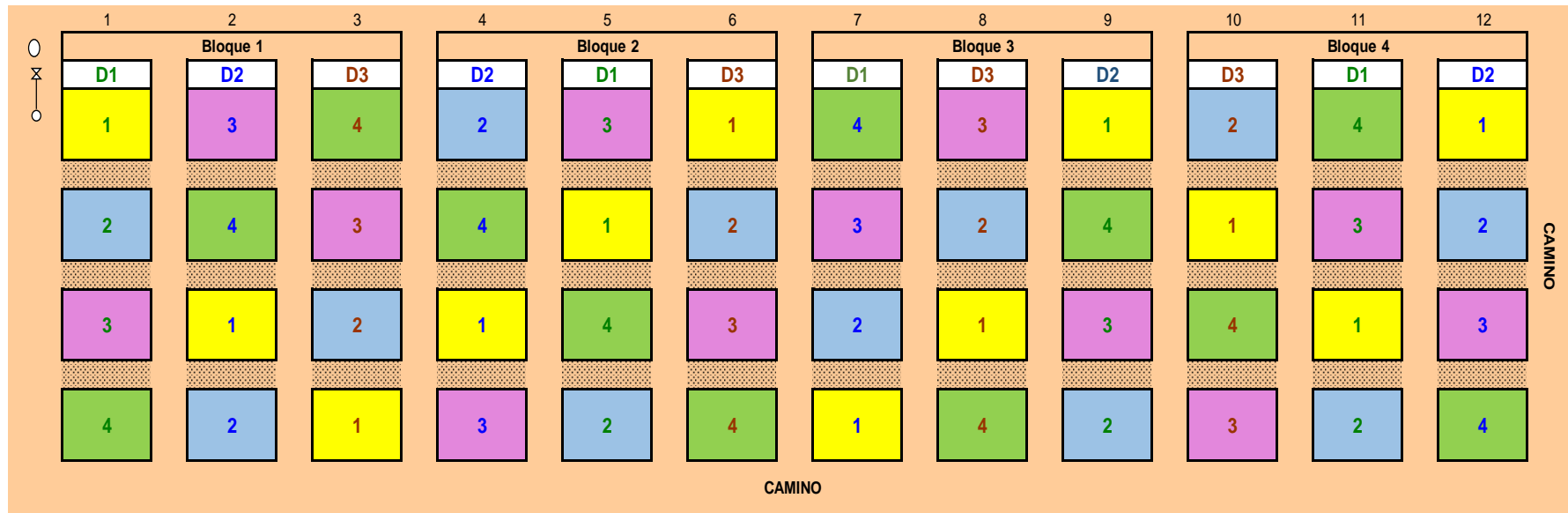
c. De la parcela

Largo	7.20 m
Ancho	1.25 m
Área	9.00 m <sup>2</sup>
Número de parcelas	12.00

d. De la subparcela

Largo efectivo	1.80 m
Ancho efectivo	1.25 m
Área efectiva	2.25 m <sup>2</sup>
Número de subparcelas	48.00

**Figura 01: Esquema de aleatorización de cuatro niveles nutricionales bajo tres densidades de siembra.**



- 1 Testigo
- 2 NPK
- 3 NPK + Ca
- 4 NPK + Ca +Microelementos

<b>D1:160,000 pl/ha</b>	<b>5.0 cm</b>
<b>D2:120,000 pl/ha</b>	<b>6.7 cm</b>
<b>D3:80,000 pl/ha</b>	<b>10 cm</b>

### 3.2.5 VARIABLES EVALUADAS

- a. **Rendimiento de grano (kg/ha):** Luego de la cosecha, se dejó secar las panojas al ambiente y se procedió con la trilla, limpieza y venteo, una vez obtenidos los granos limpios se procedió a pesar el rendimiento de cada subparcela.
  
- b. **Componentes del rendimiento:**
  - i. **Peso de grano por panoja (g):** Cada planta presenta una sola panoja, por lo que el rendimiento por panoja fue hallado dividiendo el rendimiento de cada subparcela entre el número de plantas presentes en la misma.
  
  - ii. **Peso de mil granos (g):** De los granos trillados y limpiados de cada subparcela se tomó al azar 1000 granos y se pesaron en una balanza electrónica sensible a 0.01 g. Este componente es una medición indirecta de la calidad de grano, ya que, a mayor peso de mil granos, los granos están mejor llenados.
  
- c. **VARIABLES DE CRECIMIENTO:**
  - i. **Altura de planta (cm):** Se midió con una regla graduada desde la base de la planta hasta el punto terminal de la planta. Para ello se tomaron 6 plantas al azar de cada una de las 48 subparcelas.
  
  - ii. **Diámetro de tallo (cm):** Se midió con un vernier electrónico a unos 10 cm por encima del cuello de la planta.
  
  - iii. **Longitud de panoja (cm):** Se midió desde el comienzo de las ramificaciones de la panoja, hasta el extremo apical del mismo. Se tomaron 6 plantas al azar de cada una de las 48 subparcelas.
  
  - iv. **Diámetro de panoja (cm):** Se tomó el diámetro máximo de la parte media de cada panoja. Se tomaron 6 plantas al azar de cada una de las 48 subparcelas.

- v. **Área foliar (cm<sup>2</sup>/planta):** Se tomaron muestras de hojas con un área conocida, determinando su peso, para luego relacionarlo con el peso total de hojas por planta.
  - vi. **Materia seca total (g/planta):** Se determinó por separado el peso de la materia seca de toda la parte aérea de la planta (hoja, tallo y panoja), para ello, se empleó un horno de secado a temperatura constante de 70°C por 48 horas; previo al secado en horno, la muestra fue secada al ambiente por varias semanas.
  - vii. **Componentes de la materia seca total (g/planta):** Estos son la materia seca de hojas, m.s. de tallos y m.s. de panojas, para determinarla se empleó la metodología descrita para hallar la m.s. total. La m.s. de panojas incluyó la ms del eje central de la panoja así como los ejes secundarios, terciarios, hojas de la panoja, pedicelos y glomérulos, estos últimos constituidos por los perigonios y granos.
- d. **Componentes de calidad del grano:**
- i. **Granulometría:** Esta evaluación se realizó para ver la composición granulométrica. Para esto se emplearon tamices que clasifican según diámetro de granos de 2 mm, 1,4 mm y 1 mm, respectivamente.
  - ii. **Proteínas en grano (%):** Estas evaluaciones se realizaron con el método Micro-Kjendal para hallar el contenido de nitrógeno orgánico en los granos, realizado en el Laboratorio análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la UNALM. Luego se convirtió este resultado a un valor total de proteína, mediante una multiplicación por el factor empírico 6,25.
  - iii. **Saponinas en grano (%):** Esta evaluación se realizó a través del método afrosimétrico mecánico. Propuesto por **Kosiol (1990)**, y modificado por **Bálsamo (2002)**. Es un método físico estandarizado, donde la muestra de quinua será sumergida en agua para ser agitada. Las saponinas forman espuma estable, cuya altura está correlacionada con el contenido de saponinas en los granos (**FAO, 2000** citado por **Julón, 2016**).

El procedimiento consiste en pesar 0,5 g de granos enteros de quinua; colocarlo en un tubo de ensayo con tapa y agregar 5 ml de agua destilada, poner en marcha el cronómetro y sacudir vigorosamente el tubo por 30 segundos, dejar el tubo en reposo durante 30 minutos; luego sacudir otra vez, durante 20 segundos, dejar en reposo por 30 minutos más; luego sacudir otra vez durante 30 segundos. Dar al tubo una última sacudida fuerte, igual a las sacudidas que se usan con termómetros orales. Dejar el tubo en reposo durante 5 minutos, luego medir la altura de la espuma al 0.01 cm más cercano. El porcentaje de saponinas se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Saponinas (\%)} = \frac{\text{altura de espuma (cm)} - 0.29}{3.74}$$

- iv. Porcentaje de humedad (%):** Se determinó pesando una muestra de 50 g y llevándola a estufa durante 48 horas y luego se volvió a pesar, con el fin de obtener la relación de la humedad perdida a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \left( \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

**e. Parámetros agronómicos:**

- i. Evapotranspiración del cultivo (ETC = mm/Campaña):** Cantidad de agua evapotranspirada durante el ciclo vegetativo del cultivo de quinua.
- ii. Eficiencia de uso del agua (EUA - kg/m<sup>3</sup>):** Relación existente entre el rendimiento total de grano quinua y el requerimiento de riego del cultivo.

$$\text{EUA (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Rendimiento de grano quinua (kg/ha)}}{\text{Requerimiento de riego aplicado (m}^3\text{/ha)}}$$

- iii. **Coefficiente de transpiración (CT - l/kg):** se obtiene dividiendo el requerimiento neto de riego sobre la materia seca total producida por el cultivo, mide la capacidad de transpiración del cultivo.
  
- iv. **Índice de área foliar (IAF):** es la relación entre la superficie foliar (m<sup>2</sup>) y el área efectiva promedio de cada variedad.
  
- v. **Índice de cosecha IC (%):** Es la relación entre el peso de la semilla (rendimiento económico) y el peso seco de toda la planta, incluyendo la semilla (rendimiento biológico).

### **3.2.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:**

En el Cuadro 12, se presenta el cronograma de aplicación de fertilizantes y las labores culturales realizadas durante la realización del estudio.



**Cuadro 12: Cronograma de aplicación de fertilizantes y labores culturales**

Labores	Fecha					
	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Muestreo de suelo y agua para análisis de caracterización	1					
Lavado de suelo	4 y 5					
Limpieza del sistema de riego	9					
Preparación del terreno	10, 11 y 12					
Apertura del sistema de riego	18					
Siembra	19					
Riego homogéneo	19					
1ra aplicación de fósforo		9				
1ra aplicación de Zn		11				
1ra aplicación de Ca		13				
Desahíe, 1er deshierbo y 1er aporque		14				
1ra aplicación de Mn		14				
1ra aplicación de Fe		15				
2da aplicación de P + 1ra N		16				
Primer control fitosanitario		17				
2da aplicación de Zn		18				
2da aplicación de Ca		20				
2da aplicación de Mn		21				
2da aplicación de Fe		22				
3ra aplicación de P + 2da N		23				
3ra aplicación de Zn		25				
3ra aplicación de Ca		27				
3ra aplicación de Mn		28				
3ra aplicación de Fe		29				
4ta aplicación de P + 3ra N		30				
4ta aplicación de Zn			1			
4ta aplicación de Ca			3			
4ta aplicación de Mn			4			
4ta aplicación de Fe			5			
4ta N aplicación de + 1ra K			6			
Segundo aporque			8			
5ta aplicación de Zn			8			
5ta aplicación de Ca			10			
Segundo control fitosanitario			11			
5ta aplicación de Mn			11			
5ta aplicación de Fe			12			
5ta aplicación de N + 2da K			13			
6ta aplicación de Ca			17			
6ta aplicación de N + 3ra K			20			
7ma aplicación de N + 4ta K			27			
8va aplicación de N + 5ta K				3		
9na aplicación de N + 6ta K				10		
10ma aplicación de N + 7ma K				17		
8va aplicación de K				24		
Tercer aporque				27		
9na aplicación de K					1	
Colocación de malla anti-pájaros					6	
10ma aplicación de K					8	
Registro de variables de crecimiento, rdto grano/panoja, n° plantas/m2					27	
Cierre de sistema						5
Cosecha						21

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los cuadros de resultados que se presentan y discuten a continuación, enumerados del 13 al 15, han sido elaborados a partir de los anexos 7 al 11, los cuales muestran los valores promedio del rendimiento de grano por hectárea y sus componentes, variables de crecimiento, componentes de calidad y parámetros agronómicos de los cuatro niveles nutricionales (N0: Testigo, N1: NPK, N2: NPK + Ca y N3: NPK + Ca + Microelementos); así también se presenta el análisis agroeconómico por densidad de siembra D1: 160,000 plantas /ha, D2: 120,000 plantas/ha y D3: 80,000 plantas/ha.

### **4.1 RESULTADOS GENERALES DE CUATRO NIVELES NUTRICIONALES POR DENSIDAD DE SIEMBRA**

Los cuadros 13, 14 y 15 presentan los parámetros agronómicos, rendimiento de grano y sus componentes, variables de crecimiento y los componentes de calidad de los cuatro niveles nutricionales en estudio por efecto de las tres densidades de siembra.

#### **4.1.1 RESPUESTA DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA**

##### **Densidad de 160,000 plantas /ha**

El cuadro 13, muestra que bajo las condiciones de D1:160,000 plantas/ha, el rendimiento de grano quinua fue de 3,790 kg/ha, con un requerimiento de riego de 2,750 m<sup>3</sup>/ha.

El peso promedio de grano de quinua por panoja fue de 20.6 g y el peso promedio de 1000 granos de 2.1 g. Las plantas alcanzaron una altura de 155.8 cm, un diámetro de tallo de 1.3 cm, una longitud de panoja 39.5 cm y un diámetro de panoja de 12.9 cm. Expandieron una superficie foliar de 2,044 cm<sup>2</sup>/planta y acumularon un total de materia seca total 75.5 g/planta, la materia seca de hojas 7.8 g/planta, la materia seca de tallos 26.7 g/planta y la materia seca de panojas 41.0 g/planta. Con un 15.8 % de proteínas, con 11.1 % de humedad, con 1.4 % de saponinas en los granos, también se halló la granulometría teniendo 0.6 % de granos de 2 mm, 84.7 % de granos de 1.4 mm y 14.7 % granos de 1 mm.

Finalmente la eficiencia de uso de agua (E.U.A) promedio fue de 1.40 kg/m<sup>3</sup>, el coeficiente de transpiración (CT) 236.6 l/kg, el índice de cosecha (I.C.) fue de 29.5 %, y el índice de área foliar (IAF) fue de 327 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

### **Densidad de 120,000 plantas/ha**

En el cuadro 14, muestra que bajo las condiciones de D2:120,000 plantas/ha, el rendimiento de grano quinua fue 3,602 kg/ha, con un requerimiento de riego de 2,750 m<sup>3</sup>/ha.

El peso promedio de grano de quinua por panoja fue de 26.0 g y el peso promedio de 1000 granos de 2.1 g. Las plantas alcanzaron una altura de 159.7 cm, un diámetro de tallo de 1.2 cm, una longitud de panoja de 44.4 cm y un diámetro de panoja de 11.8 cm. Expandieron una superficie foliar de 2,113 cm<sup>2</sup>/planta y acumularon un total de materia seca total 73.6 g/planta, la materia seca de hojas 6.3 g/planta, la materia seca de tallos 26.6 g/planta y la materia seca de panojas 40.7 g/planta. Con un 15.3 % de proteínas, con 11.2 % de humedad, con 1.4 % de saponinas en los granos, también se halló la granulometría teniendo 0.4 % de granos de 2 mm, 84.6 % de granos de 1.4 mm y 14.9 % de granos de 1 mm.

Finalmente, la eficiencia de uso de agua (E.U.A) promedio fue 1.30 kg/m<sup>3</sup>, el coeficiente de transpiración (CT) 309.0 l/kg, el índice de cosecha (I.C.) 37.7 %, y el índice de área foliar (IAF) 253.6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

### **Densidad de 80,000 plantas/ha**

El cuadro 15, muestra que bajo las condiciones de la D3: 80,000 plantas/has, el rendimiento de grano quinua fue de 3,526 kg/ha, con un requerimiento de riego de 2,750 m<sup>3</sup>/ha.

El peso promedio de grano de quinua por panoja fue de 37.6 g y el peso promedio de 1000 granos de 2.0 g. Las plantas alcanzaron una altura de 161.2 cm, un diámetro de tallo de 1.3 cm, una longitud de panoja 46.1 cm y un diámetro de panoja de 13.5 cm. Expandieron una superficie foliar de 1,743 cm<sup>2</sup>/planta y acumularon un total de materia seca total 73.0 g/planta, la materia seca de hojas 5.4 g/planta, la materia seca de tallos 27.1 g/planta y la materia seca de panoja 40.4 g/planta. Con un 15.9 % de proteínas, con

11.1 % de humedad, con 1.5 % de saponinas en los granos, también se halló la granulometría teniendo 0.5 % de granos de 2 mm, 84.3 % de granos de 1.4 mm y 15.2 % de granos de 1 mm.

Finalmente la eficiencia de uso de agua (E.U.A) promedio fue de 1.30 kg/m<sup>3</sup>, el coeficiente de transpiración (CT) 458.1 l/kg, el índice de cosecha (I.C.) fue de 53.8 %, y el índice de área foliar (IAF) fue de 139.4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

#### **4.1.2 RESPUESTA DEL NIVEL NUTRICIONAL**

##### **N0: Testigo o sin fertilizar**

Bajo las condiciones nutricionales del testigo no fertilizado el rendimiento de grano de quinua promedio es de 2,961 kg/ha para D1: 160,000 plantas/ha, de 3,139 kg/ha para D2: 120,000 y de 2,953 kg/ha para D3: 80,000 plantas/ha. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 147.4 cm para D1, de 155.7 cm para D2 y de 156.3 cm para D3. De la misma forma el peso de grano por panoja, presenta promedios de 16.1 g, 22.6 g y 31.6 g, el área foliar 1,030, 936 y 813 cm<sup>2</sup>/planta, para D1, D2 y D3 respectivamente.

De otro lado, la eficiencia de uso de agua (EUA) para D1, D2 y D3 fue 1.08, 1.14 y 1.07 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, el coeficiente de transpiración (CT) alcanzó 363.9 l/kg para D1, 474.4 l/kg para D2 y 651.7 l/kg para D3, el índice de área foliar (IAF) fue 164.8, 112.4 y 65.1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D1, D2 y D3 respectivamente. Finalmente un índice de cosecha (IC) de 37.9 % para D1, 51.2 % para D2 y 66.2 % para D3.

##### **N1: NPK**

La aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio determina un rendimiento de grano quinua de 3,609 kg/ha para D1: 160,000 plantas/ha, de 3,712 kg/ha para D2: 120,000 y de 3,566 kg/ha para D3: 80,000 plantas/ha. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 157.8 cm para D1, de 160.3 cm para D2 y de 161.5 cm para D3. De la misma forma el peso de grano por panoja, presenta promedios de 19.6 g, 26.8 g y 38.0 g, el área foliar 2,354, 2,081 y 1,792 cm<sup>2</sup>/planta, para D1, D2 y D3 respectivamente.

Finalmente, la eficiencia de uso de agua (EUA) alcanzó 1.31, 1.35 y 1.30 kg/m<sup>3</sup> para D1, D2 y D3 respectivamente, el coeficiente de transpiración (CT) fue 211.9 l/kg para D1, 291.9 l/kg para D2 y 458.5 l/kg para D3, el índice de área foliar (IAF) para D1, D2 y D3 fue 376.6, 249.7 y 143.4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> respectivamente; un índice de cosecha (IC) de 26.6 % para D1, 37.9 % para D2 y 56.3 % para D3.

## **N2: NPK + Ca**

Bajo las condiciones nutricionales de NPK + Calcio el rendimiento promedio de grano quinua es de 4,637 kg/ha para D1: 160,000 plantas/ha, de 3,906 kg/ha para D2: 120,000 y de 4,084 kg/ha para D3: 80,000 plantas/ha. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 161.8 cm para D1, de 162.7 cm para D2 y de 167.1 cm para D3. De la misma forma el peso de grano por panoja, presenta promedios de 25.2 g, 28.2 g y 43.5 g, el área foliar 2,578, 3,502 y 2,684 cm<sup>2</sup>/planta, para D1, D2 y D3 respectivamente.

De otro lado, la eficiencia de uso de agua (EUA) fue 1.69 kg/m<sup>3</sup> para D1, 1.42 kg/m<sup>3</sup> para D2 y 1.49 kg/m<sup>3</sup> para D3, el coeficiente de transpiración (CT) fue de 164.1, 203.1 y 317.8 l/kg para D1, D2 y D3 respectivamente, el índice foliar alcanzó valores de 412.5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D1, 420.3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D2 y 214.7 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D3, finalmente el índice de cosecha (IC) fue de 25.4, 27.8 y 44.3 % para D1, D2 y D3 respectivamente.

## **N3: NPK + Ca + Microelementos**

Con un nivel nutricional más complejo por la adición de NPK + Ca + hierro, manganeso y zinc el rendimiento medio de grano quinua es de 3,953 kg/ha para D1: 160,000 plantas/ha, de 3,654 kg/ha para D2: 120,000 y de 3,500 kg/ha para D3: 80,000 plantas/ha. Bajo estas condiciones las plantas alcanzan una altura de 156.2 cm para D1, de 160.0 cm para D2 y de 159.8 cm para D3. De la misma forma el peso de grano por panoja, presenta promedios de 21.5 g, 26.3 g y 37.3 g, el área foliar 2,212, 1,933 y 1,683 cm<sup>2</sup>/planta, para D1, D2 y D3 respectivamente.

Así mismo, la eficiencia de uso de agua alcanzó 1.44, 1.33 y 1.27 kg/m<sup>3</sup> para D1, D2 y D3 respectivamente, el coeficiente de transpiración (CT) fue para D1, D2 y D3 206.4, 266.5 y 404.3 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, el índice de área foliar (IAF) fue 354 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D1, 231.9 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D2 y 134.7 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para D3, finalmente, el índice de cosecha (IC) fue 28.1 % para D1, 33.9 % para D2 y 48.5 % para D3.

**Cuadro 13: Resultados de cuatro niveles nutricionales en D1: 160,000 plantas/ha**

CARACTERÍSTICAS	Unidad	Niveles nutricionales				Prom.
		Testigo	NPK	NPK+Ca	NPK+Ca+Micro	
<b>Rendimiento de grano</b>	kg/ha	2,961	3,609	4,637	3,953	3,790
<b>Componentes de rendimiento</b>						
Peso de grano por panoja	g	16.1	19.6	25.2	21.5	20.6
Peso de mil granos	g	1.7	2.2	2.3	2.2	2.1
<b>Variables de crecimiento</b>						
Altura de planta	cm	147.4	157.8	161.8	156.2	155.8
Diámetro de tallo	cm	1.1	1.2	1.5	1.2	1.3
Longitud de panoja	cm	31.7	40.8	47.4	38.3	39.5
Diámetro de panoja	cm	9.0	13.8	16.9	11.9	12.9
Área foliar	cm <sup>2</sup> /planta	1,030	2,354	2,578	2,212	2,044
Materia Seca Total - Parte aérea	g/planta	43.0	76.1	106.6	76.2	75.5
Materia seca de hojas	g/planta	3.6	7.4	12.9	7.3	7.8
Materia seca de panoja	g/planta	25.0	41.5	57.2	40.3	41
Materia seca de tallo	g/planta	14.4	27.3	36.4	28.6	26.7
<b>Componentes de calidad</b>						
Granulometría						
2.0 mm	%	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6
1.4 mm	%	83.1	84.8	85.3	85.8	84.7
1.0 mm	%	16.5	14.6	14.5	13.4	14.7
Porcentaje de proteínas del grano	%	14.7	15.6	16.2	16.6	15.8
Porcentaje de saponinas	%	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4
Porcentaje de humedad	%	11.0	11.1	11.1	11.1	11.1
<b>Parámetros agronómicos</b>						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	kg/m <sup>3</sup>	1.08	1.31	1.69	1.44	1.40
Coefficiente de transpiración (CT)	l/kg	363.9	211.9	164.1	206.4	236.6
Índice de área foliar (IAF)	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	164.8	376.6	412.5	354.0	327
Índice de cosecha (IC)	%	37.9	26.6	25.4	28.1	29.5

**Cuadro 14: Resultados de cuatro niveles nutricionales en D2: 120,000 plantas/ha**

CARACTERÍSTICAS	Unidad	Niveles nutricionales				Prom.
		Testigo	NPK	NPK+Ca	NPK+Ca+Micro	
<b>Rendimiento de grano</b>	kg/ha	3,139	3,712	3,906	3,654	3,602
<b>Componentes de rendimiento</b>						
Peso de grano por panoja	g	22.6	26.8	28.2	26.3	26
Peso de mil granos	g	1.9	2.1	2.2	2.2	2.1
<b>Variables de crecimiento</b>						
Altura de planta	cm	155.7	160.3	162.7	160.0	159.7
Diámetro de tallo	cm	1.0	1.3	1.4	1.1	1.2
Longitud de panoja	cm	38.6	47.1	49.3	42.7	44.4
Diámetro de panoja	cm	9.4	12.3	14.5	11.3	11.8
Área foliar	cm <sup>2</sup> /planta	936	2,081	3,502	1,933	2,113
Materia Seca Total - Parte aérea	g/planta	44.1	70.7	102.0	77.7	73.6
Materia seca de hojas	g/planta	2.8	7.5	9.2	5.8	6.3
Materia seca de panoja	g/planta	26.7	36.9	58.4	40.9	40.7
Materia seca de tallo	g/planta	14.7	26.3	34.4	30.9	26.6
<b>Componentes de calidad</b>						
Granulometría						
2.0 mm	%	0.2	0.3	0.7	0.5	0.4
1.4 mm	%	83.4	84.3	85.3	85.3	84.6
1.0 mm	%	16.3	15.4	13.7	14.3	14.9
Porcentaje de proteínas del grano	%	14.6	14.8	15.8	16.0	15.3
Porcentaje de saponinas	%	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4
Porcentaje de humedad	%	11.1	11.2	11.3	11.2	11.2
<b>Parámetros agronómicos</b>						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	kg/m <sup>3</sup>	1.14	1.35	1.42	1.33	1.30
Coefficiente de transpiración (CT)	l/kg	474.4	291.9	203.1	266.5	309
Índice de área foliar (IAF)	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	112.4	249.7	420.3	231.9	253.6
Índice de cosecha (IC)	%	51.2	37.9	27.8	33.9	37.7

**Cuadro 15: Resultados de cuatro niveles nutricionales en D3: 80,000 plantas/ha**

CARACTERÍSTICAS	Unidad	Niveles nutricionales				Prom.
		Testigo	NPK	NPK+Ca	NPK+Ca+Micro	
<b>Rendimiento de grano</b>	kg/ha	2,953	3,566	4,084	3,500	3,526
<b>Componentes de rendimiento</b>						
Peso de grano por panoja	g	31.6	38.0	43.5	37.3	37.6
Peso de mil granos	g	1.7	2.1	2.2	2.1	2.0
<b>Variables de crecimiento</b>						
Altura de planta	cm	156.3	161.5	167.1	159.8	161.2
Diámetro de tallo	cm	1.1	1.3	1.4	1.3	1.3
Longitud de panoja	cm	43.0	47.2	49.1	45.3	46.1
Diámetro de panoja	cm	10.4	13.6	16.6	13.5	13.5
Área foliar	cm <sup>2</sup> /planta	813	1,792	2,684	1,683	1,743
Materia Seca Total - Parte aérea	g/planta	48.5	67.7	98.5	77.2	73.0
Materia seca de hojas	g/planta	3.0	6.2	7.0	5.6	5.4
Materia seca de panoja	g/planta	29.2	36.4	53.8	42.1	40.4
Materia seca de tallo	g/planta	16.3	25.0	37.7	29.5	27.1
<b>Componentes de calidad</b>						
Granulometría						
2.0 mm	%	0.2	0.4	1.0	0.5	0.5
1.4 mm	%	82.8	84.9	85.4	84.0	84.3
1.0 mm	%	17.0	14.7	13.7	15.4	15.2
Porcentaje de proteínas del grano	%	14.0	15.7	17.0	17.0	15.9
Porcentaje de saponinas	%	1.3	1.4	1.7	1.5	1.5
Porcentaje de humedad	%	11.0	11.2	11.2	11.20	11.1
<b>Parámetros agronómicos</b>						
Eficiencia de uso de agua (EUA)	kg/m <sup>3</sup>	1.07	1.30	1.49	1.27	1.30
Coefficiente de transpiración (CT)	l/kg	651.7	458.5	317.8	404.3	458.1
Índice de área foliar (IAF)	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	65.1	143.4	214.7	134.7	139.4
Índice de cosecha (IC)	%	66.2	56.3	44.3	48.5	53.8



## 4.2 RENDIMIENTO (kg/ha)

El cuadro 16, muestra el análisis de varianza para el rendimiento de quinua grano, con un coeficiente de variabilidad de 9.1 % y una media de 3,639 kg/ha. Al respecto, se observa que no existen diferencias estadísticas entre densidades de siembra. En cambio, se muestran diferencias altamente significativas entre niveles nutricionales; no se hallaron diferencias para la interacción entre los factores en estudio; lo cual indica que no hay interdependencia entre ambos factores.

Para densidades de siembra la prueba de Duncan indica que las medias son similares estadísticamente. El mayor rendimiento con 3,790 kg/ha caracteriza a D1: 160,000 pl/ha, con diferencias porcentuales de 7.5 % respecto de D3: 80,000 pl/ha que presenta el menor rendimiento con 3,526 kg/ha.

De otro lado, la prueba de comparación de medias de Duncan, muestra para niveles nutricionales que el mayor rendimiento de quinua se presenta a nivel de N2: NPK + Ca con 4,209 kg/ha, diferente estadísticamente de N3: NPK + Ca + Micro siendo la diferencia porcentual de 13.6 %, con N1: NPK de 15.9 % y con N0: Testigo de 39.5 %. Asimismo, N3 y N1 son similares estadísticamente, pero difieren estadísticamente de N0: Testigo no fertilizado que presenta un rendimiento de 3,018 kg/ha.

Se aprecia que N2: NPK + Ca supera en rendimiento a N3: NPK+ Ca + Fe-Mn-Zn, a pesar de su mayor complejidad nutricional. Al respecto, se espera que a un pH moderadamente básico (7.9) la disponibilidad de los microelementos en estudio, de limitada a muy limitada, determine alta probabilidad de respuesta a su aplicación. Cuando la respuesta es negativa como muestra los resultados del rendimiento, es que la fertilización de microelementos no quelatados con sulfatos de hierro, manganeso y zinc no fue eficiente, probablemente debido a su precipitación en el suelo o a la interacción negativa con otras sales fertilizantes, como el  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ , utilizada como fuente de calcio en el ensayo.

Finalmente, el rendimiento de quinua más alto caracteriza al tratamiento de D1 (160,000 pl/ha) a nivel de N2 (NPK + Ca) con 4,637 kg/ha con una diferencia porcentual de 57 % respecto de D3 (80,000 pl/ha) a nivel de N0 (Testigo), que a su vez no difiere cuantitativamente de D2 (120,000pl/ha) y de D3 (160,000 pl/ha).

**Apaza (1995)**, menciona que la variedad La Molina 89 es del Altiplano, por lo cual las características de rusticidad y adaptabilidad son mayores, además, sus características morfológicas le permiten adaptarse y rendir mejor a altas densidades. Dicho autor obtuvo sus mayores rendimientos con mayores densidades de siembra; lo contrario hallaron **Rivero (1985)** y **Blanco (1969)**, quienes obtuvieron mayores rendimientos a densidades menores, pero lo realizaron con otras variedades y bajo condiciones de secano.

**Mujica et al., (2001)**, mencionan que los rendimientos varían de acuerdo a las variedades, a las condiciones del ambiente, a las labores culturales y al control fitosanitario.

Experimentos con la variedad La Molina 89 en el distrito de La Molina, informan rendimientos de 2,978.9 kg/ha con una dosis de nitrógeno de 80 kg/ha (**Timaná, 1992**); 4,093.9 kg/ha con una dosis de N de 160 kg/ha (**Apaza, 1995**); 1,524.0 kg/ha y 1,122.9 kg/ha en siembras de verano (**Tapia, 2003; Echegaray, 2003**). Por otro lado en siembras de primavera; **Barnett (2005)**, informa un rendimiento de 7,156.7 kg/ha y concluye que la variedad La Molina 89, responde a 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, diámetro de la panoja y la materia seca; y que dosis mayores de nitrógeno, originan disminución creciente de rendimiento por cada unidad adicional de N.

**Mercedes (2005)**, en La Molina, obtuvo el máximo rendimiento de quinua igual a 2,030 kg/ha. **Quillatupa (2009)**, en La Molina, evaluó 16 genotipos de quinua, encontrando rendimientos máximos de 4,425 kg/ha y mínimos de 1,513.3 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 1,790 y 3,495 kg/ha.

La quinua tiene una buena respuesta a la fertilización nitrogenada y fosforada, en una cantidad de 80 kg/ha de N y P (**Mujica, 1977** citado por **Aguilar y Jacobsen, 2003**).

**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).

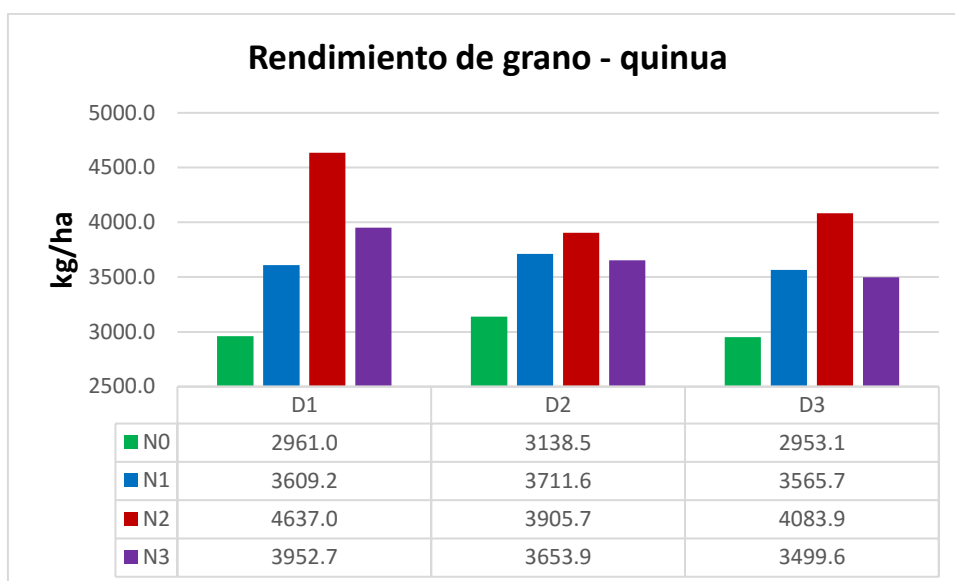
**Huamancusi (2012)**, obtuvo un rendimiento de 3,413 kg/ha con una dosis de nitrógeno de 240 kg/ha, bajo riego por goteo, dicho ensayo fue realizado en La Molina a inicios de primavera.

Álvarez (2017, datos por publicar), obtuvo con la variedad La Molina 89 y con densidades de 200,000 plantas/ha, 150,000 plantas/ha y 100,000 plantas/ha rendimientos de 5,288.7 kg/ha, 4,588.5 kg/ha y 3,683.2 kg/ha respectivamente.

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 16: Rendimiento de grano de quinua (14% Humedad) kg/ha.**

Factor en estudio	Rendimiento de quinua grano (kg/ha)	
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>		
D1: 160,000	3,790	
D2: 120,000	3,602	
D3: 80,000	3,526	
<b>Niveles nutricionales</b>		
N0: Testigo	3,018	
N1: NPK	3,629	
N2: NPK + Ca	4,209	
N3: NPK + Ca + Micro	3,702	
<b>Promedio general</b>	3,639	
<b>Análisis de variancia</b>		
Fuentes de variación	GL	Significación
Densidad (D)	2	n.s.
Nivel nutricional (N)	3	**
Interacción (DD x NN)	6	n.s.
CV (%)	9.1	



**FIGURA 02: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el rendimiento de quinua (kg/ha)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para rendimiento de grano por hectárea por densidades de siembra**

Densidad plantas /ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	3,790	A	107.5
D2 = 120,000	3,602	A	102.2
D3 = 80,000	3,526	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para rendimiento de grano por hectárea por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	4,209	A	139.5
N3 = NPK + Ca + Micro	3,702	B	122.7
N1 = NPK	3,629	B	120.3
N0 = Testigo	3,018	C	100.0

### **4.3 COMPONENTES DE RENDIMIENTO**

El Cuadro 17 presenta los resultados de los componentes del rendimiento de quinua grano: peso de grano por panoja y peso de 1,000 granos. Al respecto, el análisis de variancia indica alta significación estadística para densidades y niveles nutricionales en el peso de grano/panoja. Asimismo, indica alta significación estadística para niveles nutricionales en el peso de 1000 granos. Los efectos de interacción no fueron significativos en ambas variables.

#### **4.3.1 PESO DE GRANO POR PANOJA (g)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para el peso de grano/panoja, determina que para densidades de siembra las medias son diferentes estadísticamente. El mayor peso de grano por panoja se presenta en D3:80,000 pl/ha con 37.6 g, con diferencias porcentuales de 44.6 % respecto de D2:120,000 pl/ha y de 82.5 % respecto de D1:1600,000 pl/ha con un peso de 20.6 g, ambas densidades también diferentes estadísticamente.

De otro lado, Duncan indica para niveles nutricionales que el mayor peso de grano/panoja se presenta a nivel de N2: NPK + Ca, con 32.3 g, diferente porcentualmente en 13.7 % respecto a N3: NPK + Ca + Micro, en 14.9 % respecto a N1: NPK y en 37.9 % respecto N0: Testigo no fertilizado, que presenta el menor peso con 23.4 g de peso de grano/panoja. Asimismo, Duncan indica que N3 y N1 son similares estadísticamente y que difieren del Testigo no fertilizado.

**Rivero (1985)**, determinó que a medida que aumenta la densidad de siembra el rendimiento de grano es menor. En ensayos realizados en la costa central permitieron hallar que la variedad La Molina 89 presenta bajos rendimientos por panoja a altas densidades, en tanto que bajas densidades determinan mayores rendimientos por panoja (**Apaza, 1995** y **Tapia, 2003**). Esta variedad está caracterizada con un peso de 13.7 g/planta (**Apaza, 1995**).

Existe correlación positiva entre rendimiento de grano por planta con altura de planta, longitud y diámetro de panoja (**Timaná, 1992**).

**Tapia (1997)**, encontró panojas que pueden rendir individualmente hasta 200 g de grano. **Mujica et al., (2001)**, mencionan que se han hallado rendimientos por planta de hasta 500 g.

**Barnett (2005)**, observó que en general, el rendimiento de grano/panoja se incrementa conforme se eleva las dosis de nitrógeno aplicadas, además obtuvo con la variedad La Molina 89 un rendimiento promedio de grano/panoja de 28.38 g. Este resultado es similar al obtenido en esta investigación.

#### **4.3.2 PESO DE MIL GRANOS (g)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para el peso de 1000 granos indica que D2: 120,000 pl/ha con el mayor peso de 1000 granos (2.09 g) es similar estadísticamente a D1:160,000 pl/ha, pero difiere estadísticamente de D3:80,000 pl/ha, el cual además es similar a D1.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan indica que N2: NPK + Ca, N3: NPK + Ca + Micro y N1: NPK son similares estadísticamente. El mayor valor caracteriza a N2 con un peso de 1000 granos de 2.20 g. Asimismo, difieren del N0: Testigo no fertilizado en 22.9 %, 20.7 % y 19.0 % respectivamente, que presenta el menor peso de 1000 granos con 1.79 g.

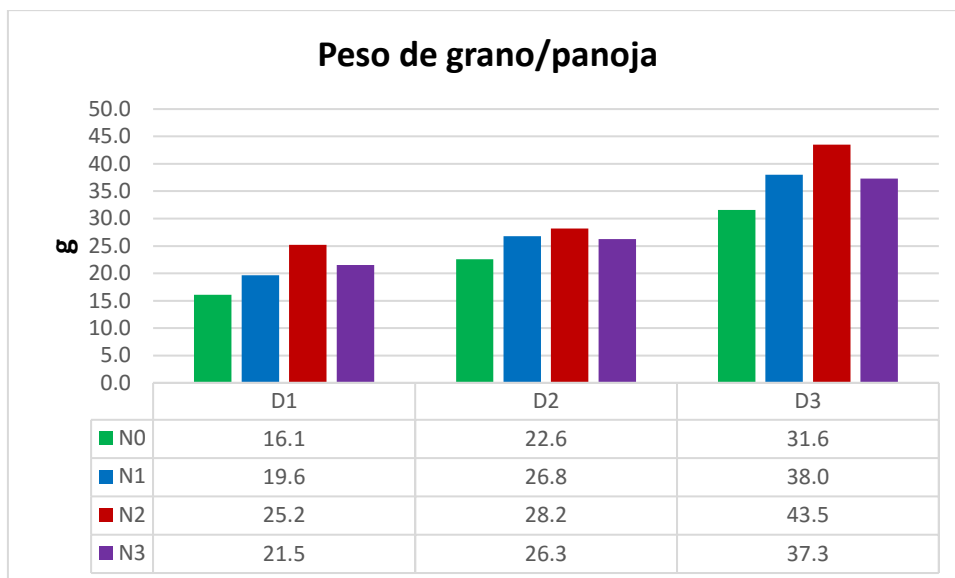
**Rivero (1985)**, al realizar un ensayo en Jauja con las variedades del tipo Valle: Rosada de Junín y Yanamarca, halló que existe alta correlación positiva entre el rendimiento y el tamaño de grano y también entre el rendimiento y peso de 1000 granos; este mismo autor y **Leonardo (1985)**, reportan que el uso de fertilizantes mejora las características de peso de 1000 granos

**Barnett (2005)**, menciona que el valor promedio hallado en la variedad La Molina 89, fue de 1.98 g/1000 semillas, además menciona que este valor es menor que el valor señalado en la caracterización realizada por el Programa de Cereales de Cereales de La UNALM (3.08 gramos/1000 semillas).

El valor hallado por **León (2014)**, para la variedad la Molina 89 fue de 2.89 g/1000 granos, menciona que el valor hallado está dentro del rango propuesto por **Mujica et al., (2001)**, quienes indican que esta variedad varía de 1.93 a 3.35 g/1000 granos, por lo que el valor promedio obtenido (2.1 g/1000 granos) en el experimento está dentro de este rango.

**CUADRO 17: Componentes del rendimiento de quinua**

<b>Factor en estudio</b>	<b>Peso de grano/ panoja (g)</b>	<b>Peso de 1000 granos(g)</b>
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>		
D1: 160,000	20.6	2.08
D2: 120,000	26	2.09
D3: 80,000	37.6	2.03
<b>Niveles nutricionales</b>		
N0: Testigo	23.4	1.79
N1: NPK	28.1	2.13
N2: NPK + Ca	32.3	2.2
N3: NPK + Ca + Micro	28.4	2.16
<b>Promedio general</b>	28.1	2.07
<b>Análisis de variancia</b>		
Fuentes de variación	Significación	
Densidad (D)	**	n.s
Nivel nutricional (N)	**	**
Interacción (DD x NN)	n.s	n.s
CV (%)	9.6	10.1



**FIGURA 03: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el peso de grano/panoja (g)**

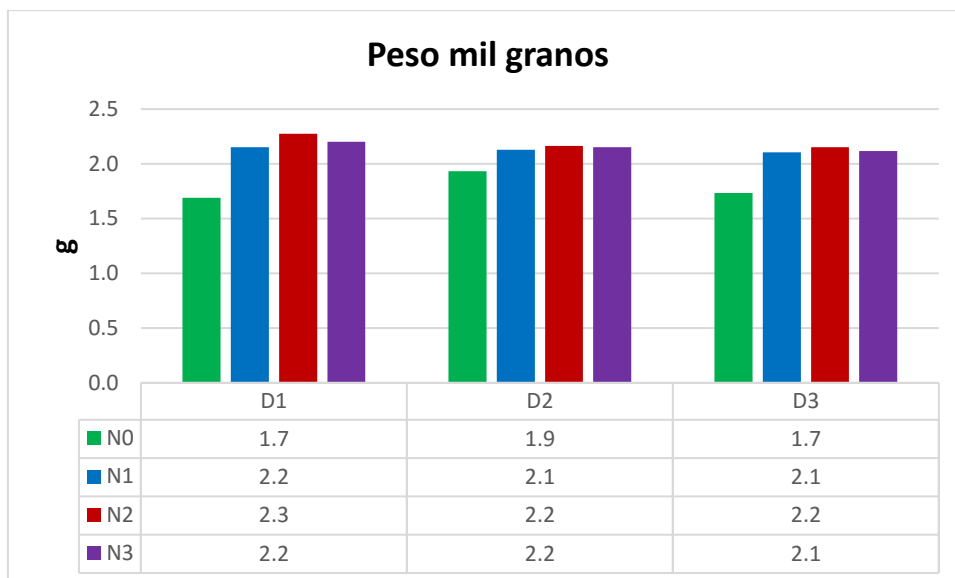
**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para peso de grano/panoja (g) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	37.6	A	182.5
D2 = 120,000	26.0	B	126.0
D1 = 160,000	20.6	C	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para peso de grano/panoja (g) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	32.3	A	137.9
N3 = NPK + Ca + Micro	28.4	B	121.1
N1 = NPK	28.1	B	120.2
N0 = Testigo	23.4	C	100.0





**FIGURA 04: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el peso de mil granos (g)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para peso de mil granos (g) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D2 = 120,000	2.09	A	103.0
D1 = 160,000	2.08	AB	102.5
D3 = 80,000	2.03	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para peso de mil granos (g) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	2.20	A	122.9
N3 = NPK + Ca + Micro	2.16	A	120.7
N1 = NPK	2.13	A	119.0
N0 = Testigo	1.79	B	100.0

#### **4.4 VARIABLES DE CRECIMIENTO**

El Cuadro 18 presenta cinco de las variables de crecimiento del cultivo de quinua; altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panoja, diámetro de panoja y área foliar. Al respecto, el análisis de variancia indica que excepto altura de planta, todas las otras variables no muestran significación estadística para densidad de siembra. Para niveles nutricionales, en cambio, todas las variables presentan alta significación estadística. Los efectos de interacción no son significativos en las variables evaluadas.

##### **4.4.1 ALTURA DE PLANTA (cm)**

La prueba de comparación de medias de Duncan indica para densidades de siembra que la mayor altura de planta se presenta en D3:80,000 pl/ha con 161.2 cm, similar a D2: 120,000 pl/ha, pero diferente estadísticamente a D1: 160,000 pl/ha que presenta la menor altura con 155.8 cm.

De otro lado, Duncan indica para niveles nutricionales que la mayor altura se presenta a nivel de N2: NPK + Ca, con 163.9 cm, similar estadísticamente a N1: NPK, pero diferente estadísticamente a N3: NPK + Ca +Micro y a N0: Testigo que presenta el menor valor con 153.1 cm. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

Según **Rivero (1985)**, existe alta correlación positiva entre el rendimiento de grano y la altura de planta, **Timaná (1992)** encontró esta misma correlación positiva en la variedad La Molina 89 (antiguamente considerada como Línea Avanzada 5). Este mismo autor 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)**, realizó un ensayo con la var. La Molina 89 y halló la menor altura de plantas (140 cm) con el nivel testigo, y la mayor altura (158 cm) con su máximo nivel aplicado de N (160 kg/ha); el mismo autor señala que esta variedad está caracterizada con una altura promedio de 130 cm. También señala que la altura de planta es una característica gobernada genéticamente.

La altura de planta de la variedad La Molina 89, se incrementa al elevar las dosis de N, encontrándose la menor altura en el nivel testigo (156 cm) y la mayor (171 cm) con el máximo nivel (160 kg/ha) (**Huamancusi, 2012**).

En un ensayo realizado en el Distrito de La Molina, la variedad La Molina 89 presentó una altura promedio de 137 cm (**Tapia, 2003**).

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

Barnett (**2005**), menciona que obtuvo una altura promedio de planta de 165.2 cm para la variedad La Molina 89.

Álvarez (**2017**, datos por publicar), halló para la variedad La Molina 89, a densidades de 100,00 plantas/ha; 150,000 plantas/ha y 200,000 plantas/ha un promedio de altura de planta de 187.2 cm, 186.2 cm y 153.2 cm respectivamente.

#### **4.4.2 DIÁMETRO DE TALLO (cm)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para densidades de siembra, indica que las medias son similares estadísticamente. El mayor diámetro con 1.26 cm caracteriza a D1: 160,000 pl/ha y D3: 80,000 pl/ha.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan indica que el mayor diámetro de tallo caracteriza a N2: NPK + Ca con 1.44 cm, diferente estadísticamente de N1: NPK con una diferencia porcentual de 14.2 %, también de N3: NPK + Ca + Micro con 19.0 % de diferencia porcentual y con 35.8 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor diámetro con 1.06 cm. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente y que difieren de N0.

**León (2014)**, menciona que el diámetro de tallo es una característica importante en las plantas de quinua. A mayor diámetro, las plantas son más resistentes a la caída y acame ocasionados por el viento o el peso de las panojas. Plantas con mayor diámetro reducen o eliminan la necesidad de realizar aporques, repercutiendo en la rentabilidad final del cultivo.

#### **4.4.3 LONGITUD DE PANOJA (cm)**

La prueba de comparación de medias de Duncan, en cuanto a la densidad de siembra muestra que el mayor valor de longitud de panoja alcanzado caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 46.1 cm, similar a D2: 120,000 pl/ha, pero diferente estadísticamente de D1: 160,000 pl/ha, que presenta el menor valor alcanzado con 39.5 cm.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan indica que el mayor valor de longitud de panoja caracteriza a N2: NPK + Ca con 48.6 cm, diferente estadísticamente en 8 % respecto a N1: NPK, en 15.4 % respecto a N3: NPK + Ca + Micro y en 28.6 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor alcanzado con 37.8 cm. Asimismo, Duncan indica que N1 es diferente estadísticamente en 6.8 % respecto a N3 y en 19 % respecto a N0, finalmente, Duncan muestra que N3 es diferente estadísticamente en 11.4 % respecto a N0.

**Tapia (1997)**, menciona que en general la planta de quinua presenta una longitud de panoja que oscila entre los 15 y 70 cm. **Tapia (2003)** al realizar varios ensayos con la variedad La Molina 89, obtuvo valores entre 32.9 a 40 c, empleando una fertilización única de 80-60-00 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente, también halló que los mayores valores de longitud de panoja se obtienen cuando el cultivo tiene menor densidad por área.

**Barnett (2005)**, menciona que halló un resultado promedio de longitud de panoja para la variedad La molina 89 de 62.7 cm, el cual supera ampliamente a los valores señalados como característicos de esta variedad en **Apaza (1995)**.

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, halló como resultado promedio de longitud de panoja 60.6 cm para la variedad La Molina 89.

#### **4.4.4 DIÁMETRO DE PANOJA (cm)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para densidades de siembra muestra que las medias son similares estadísticamente. El mayor valor alcanzado caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 13.5 cm, diferente estadísticamente en 4.7 % respecto a D1: 160,000 pl/ha y en 14 % respecto a D2: 120,000 pl/ha, que alcanzó el menor valor con 11.9 cm.

De otro lado, para los niveles nutricionales Duncan indica que N2: NPK + Ca alcanza el mayor valor de diámetro de panoja con 16 cm, diferente estadísticamente en 21.2 % respecto a N1: NPK, en 31.1 % respecto a N3: NPK + Ca + Micro y en 66.4 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que alcanza el menor valor con 9.6 cm. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

**Rivero (1985)**, observó que el diámetro de panoja disminuye conforme la densidad de siembra es mayor, esta observación también fue hallada **Timaná (1992)**, quien ensayó con la línea Avanzada 5 actualmente 'La Molina 89'.

**Apaza (1995)** obtuvo diámetros de panoja muy cercanos a 7.0 cm en la variedad La Molina 89 al evaluar dos distanciamientos, concluyendo que en ésta variedad la densidad del cultivo no tiene mayor efecto sobre el diámetro de panoja. **Tapia (2003)**, empleando la misma variedad y dos densidades de siembra (40 y 80 cm entre hileras), obtuvo valores que fluctúan entre 2.5 a 4.1 cm, por lo que se puede advertir que la densidad del cultivo no parece influir significativamente en esta variable. Esto refuerza los resultados hallados en este estudio.

**Tapia (2003)**, menciona que el Programa de Cereales de la UNALM, caracteriza a la variedad La Molina 89 con un diámetro de panoja de 7 a 9 cm. **Barnett (2005)**, observó que en la variedad La Molina 89, el diámetro de panoja se incrementa gradualmente conforme se elevan las dosis de nitrógeno, haciéndose máximo (29 cm) con un nivel de N de 160 kg/ha.

**Huamancusi (2012)**, observó 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).

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, halló con la variedad La Molina 89 y densidades de 100,000 plantas/ha y 200,000 plantas/ha, diámetros promedio de panoja de 19.17 cm y 11.4 respectivamente.

#### **4.4.5 ÁREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>/planta)**

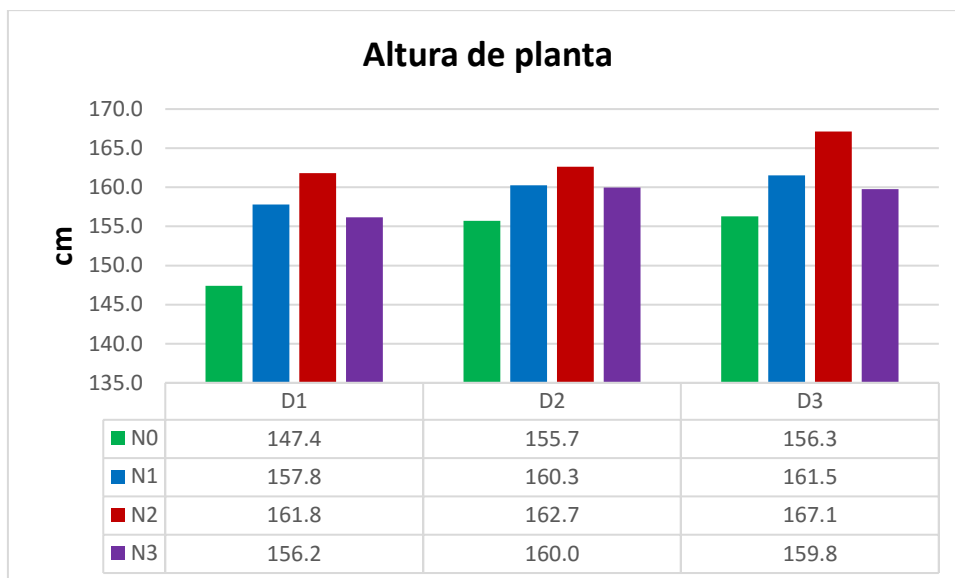
La prueba de Duncan para densidades de siembra, indica que las medias son similares. D2: 120,000 pl/ha alcanza el mayor valor con 2,113 cm<sup>2</sup>/planta, y presenta diferencias porcentuales de 3.4 % respecto a D1: 160,000 pl/ha y de 21.2 % respecto a D3: 80,000 pl/ha.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan indica que el mayor valor de área foliar caracteriza a N2: NPK + Ca con 2,922 cm<sup>2</sup>/planta, diferente estadísticamente de N1 en 40.9 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 50.4 % y en 215.3 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor con 927 cm<sup>2</sup>/planta. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

**Tapia (2003)**, menciona que la variedad Amarilla de Marangani con una distancia entre surco 0.80 m su crecimiento fue más exuberante en follaje, esto se debió a la menor competencia entre plantas y el mayor distanciamiento entre surcos y competencia inicial de malezas. **Barnett (2005)**, menciona que la variedad La molina 89 no presentó una tendencia definida en respuesta a las dosis crecientes de nitrógeno.

**CUADRO 18: Variables de crecimiento de quinua**

Factor en estudio	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Longitud de panoja (cm)	Diámetro de panoja (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> /planta)
<b>Densidad de siembra (plantas/ha)</b>					
D1: 160,000	155.8	1.26	39.5	12.9	2,044
D2: 120,000	159.7	1.21	44.4	11.9	2,113
D3: 80,000	161.2	1.26	46.1	13.5	1,743
<b>Niveles nutricionales</b>					
N0: Testigo	153.1	1.06	37.8	9.6	927
N1: NPK	159.9	1.26	45.0	13.2	2,076
N2: NPK + Ca	163.9	1.44	48.6	16.0	2,922
N3: NPK + Ca + Micro	158.6	1.21	42.1	12.2	1,943
<b>Promedio general</b>	158.9	1.24	43.4	12.7	1,967
<b>Análisis de variancia</b>					
Fuentes de variación	Significación				
Densidad (D)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Nivel nutricional (N)	**	**	**	**	**
Interacción (DD x NN)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	3.0	8.8	7.6	14.6	36.2



**FIGURA 05: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la altura de planta (cm)**

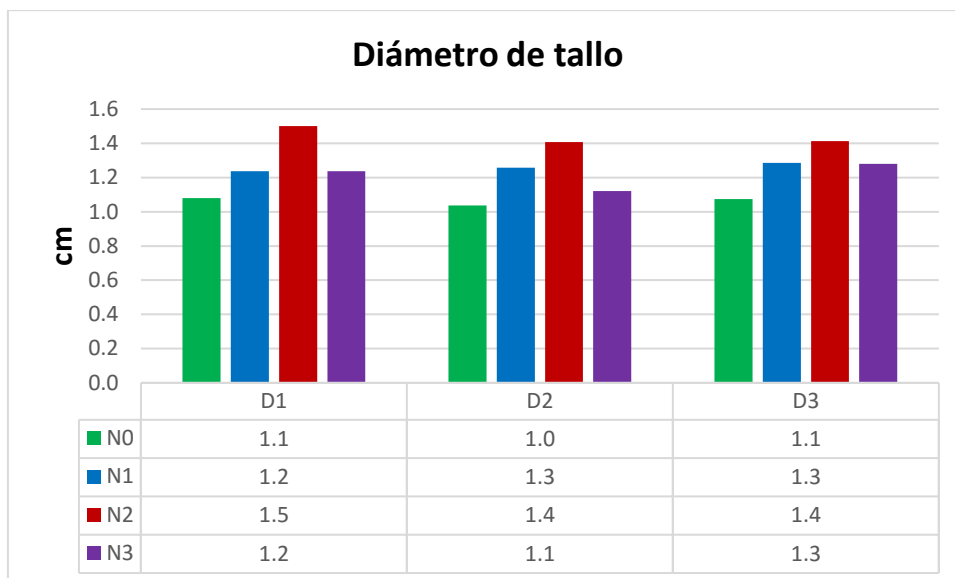
**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para altura de planta (cm) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	161.2	A	103.5
D2 = 120,000	159.7	AB	102.5
D1 = 160,000	155.8	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para altura de planta (cm) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	163.9	A	107.0
N1 = NPK	159.9	AB	104.4
N3 = NPK + Ca + Micro	158.6	B	103.6
N0 = Testigo	153.1	C	100.0





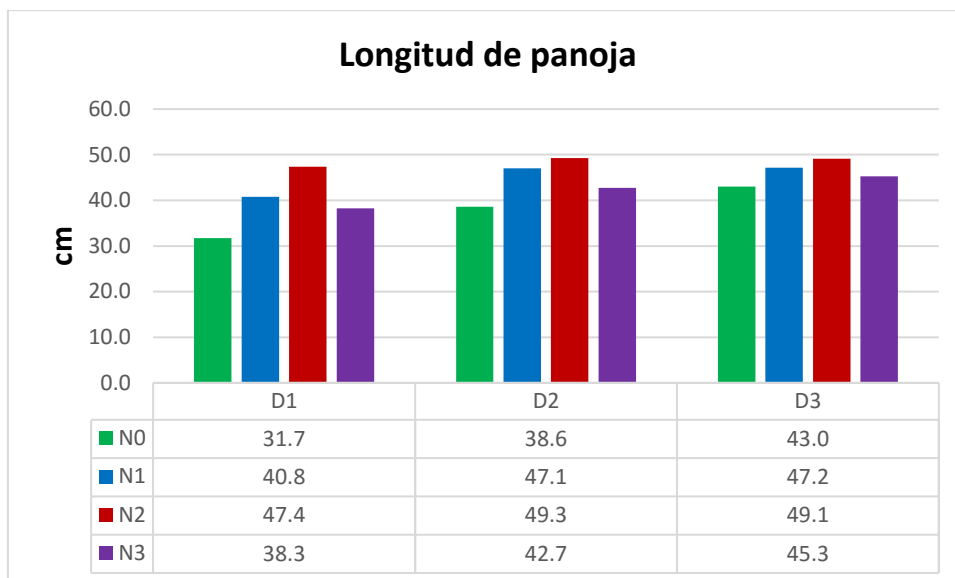
**FIGURA 06: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el diámetro de tallo (cm)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para diámetro de tallo (cm) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	1.26	A	104.1
D3 = 80,000	1.26	A	104.1
D2 = 120,000	1.21	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para diámetro de tallo (cm) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	1.44	A	135.8
N1 = NPK	1.26	B	118.9
N3 = NPK + Ca + Micro	1.21	B	114.2
N0 = Testigo	1.06	C	100.0



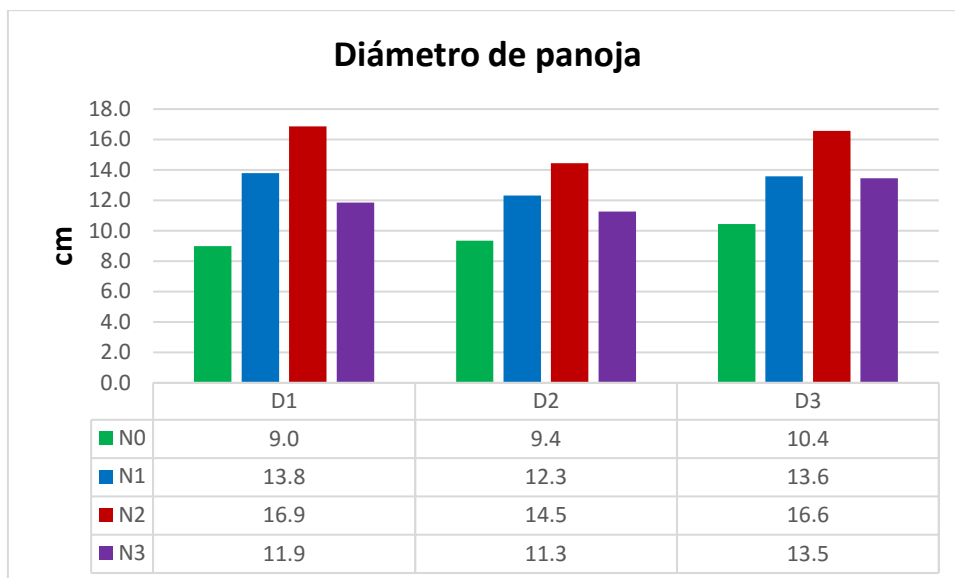
**FIGURA 07: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la longitud de la panoja (cm)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para longitud de panoja (cm) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	46.1	A	116.7
D2 = 120,000	44.4	A	112.3
D1 = 160,000	39.5	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para longitud de panoja (cm) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	48.6	A	128.6
N1 = NPK	45.0	B	119.1
N3 = NPK + Ca + Micro	42.1	C	111.4
N0 = Testigo	37.8	D	100.0



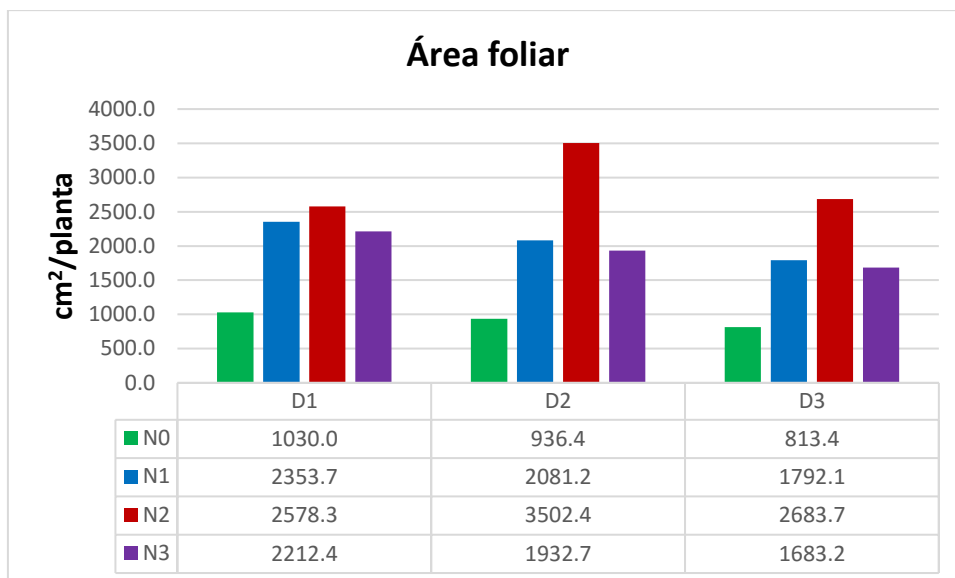
**FIGURA 08: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el diámetro de la panoja (cm)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para diámetro de panoja (cm) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	13.5	A	114.0
D1 = 160,000	12.9	A	108.6
D2 = 120,000	11.9	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para diámetro de panoja (cm) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	16.0	A	166.4
N1 = NPK	13.2	B	137.9
N3 = NPK + Ca + Micro	12.2	B	127.1
N0 = Testigo	9.6	C	100.0



**FIGURA 9: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el área foliar (cm<sup>2</sup>/planta)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para área foliar (cm<sup>2</sup>/planta) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D2 = 120,000	2,113	A	121.2
D1 = 160,000	2,044	A	117.2
D3 = 80,000	1,743	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para área foliar (cm<sup>2</sup>/planta) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	2,922	A	315.3
N1 = NPK	2,074	B	224.0
N3 = NPK + Ca + Micro	1,943	B	209.7
N0 = Testigo	927	C	100.0

#### **4.4.6 MATERIA SECA TOTAL Y SUS COMPONENTES**

El cuadro 19 los resultados de la materia seca total y sus componentes (tallos, hojas y panoja). Al respecto, el análisis de variancia indica que las variables no muestran significación estadística para densidad de siembra. Para niveles nutricionales, en cambio, todas las variables presentan alta significación estadística. Los efectos de interacción no son significativos.

##### **a) Materia seca de hojas (g/planta)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para densidades, indica que las medias son similares estadísticamente. El mayor valor alcanzado caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 41 g/planta, con diferencia porcentual de 21.8 % respecto a D2: 120,000 pl/ha y 43.1 % respecto a D3: 80,000 pl/ha.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan muestra que N2: NPK + Ca alcanza el mayor valor con 9.7 g/planta, diferente estadísticamente de N1: NPK en 38.6 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 53.9 % y de N0: Testigo sin fertilizar en 212.9 %. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0, el cual presenta el menor valor con 3.1 g/planta.

Álvarez (2017, datos por publicar), con la variedad La Molina 89 y a una densidad de 100,000 plantas/ha, observó un peso promedio de materia seca de hojas de 10.3 g/planta.

##### **b) Materia seca de tallo (g/planta)**

La prueba de comparación de medias de Duncan muestra que para densidades de siembra las medias son similares estadísticamente. El mayor valor alcanzado caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 27.1 g/planta, con diferencias porcentuales de 1.5 % respecto a D1: 160,000 pl/ha y 2.0 % respecto a D2: 120,000 pl/ha, el cual presenta el menor valor con 26.6 g/planta.

De otro lado, la prueba de comparación de medias de Duncan para la materia seca de tallo, indica que N2: NPK + Ca alcanza el mayor valor con 36.2 g/planta, diferente estadísticamente de N3: NPK + Ca + Micro en 21.9 %, también de N1: NPK en 38.2 % y en 138.8 % respecto a N0: Testigo no fertilizado, el cual presenta el menor valor para

materia seca de tallo con 15.1 g/planta. Asimismo, Duncan muestra que N3 y N1 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

Álvarez (2017, datos por publicar), observó que la variedad La Molina 89 con una densidad de siembra de 100,000 plantas/ha presentó 36.6 g/planta de peso de materia seca de tallo.

**c) Materia seca de panoja (g/planta)**

Al respecto, la prueba de comparación de medias de Duncan para densidad de siembra, muestra que las medias son similares estadísticamente. D1: 160,000 pl/ha alcanza el mayor valor con 41 g/planta, con diferencia porcentual de 1.5 % respecto a D3: 80,000 pl/ha que presenta el menor valor con 40.4 g/planta.

De otro lado, para niveles nutricionales Duncan indica que el mayor valor caracteriza a N2: NPK + Ca con 56.5 g/planta, diferente estadísticamente de N3: NPK + Ca + Micro en 37.5 %, también de N1: NPK en 47.5 % y en 109.5 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor con 27 g/planta. Asimismo, Duncan muestra que N3 y N1 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

Álvarez (2017, datos por publicar), encontró con la variedad La Molina 89 y densidad de 100,000 plantas/ha un peso promedio de materia seca de panoja de 85.1 g/planta).

**d) Materia seca total (g/planta)**

La prueba de Duncan para la materia seca total, muestra que las medias de densidad siembra son similares estadísticamente. El mayor valor caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 75.5 g/planta, con diferencia porcentual de 3.4 % respecto de D3: 80,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 73 g/planta.

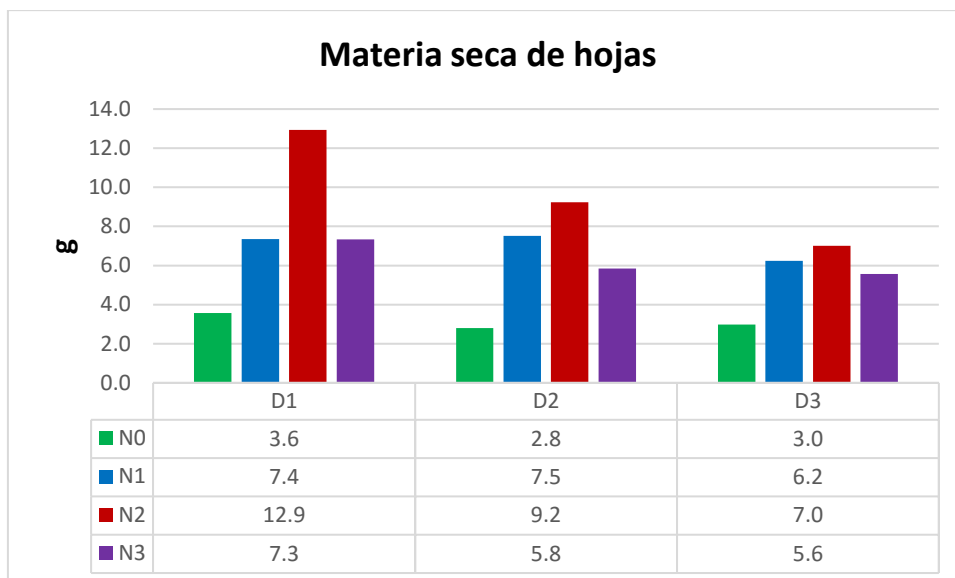
De otro lado, la prueba de comparación de medias de Duncan, para niveles nutricionales, muestra que N2: NPK + Ca con 102.4 g/planta presenta el mayor valor, diferente estadísticamente de N3: NPK + Ca + Micro en 32.9 %, también de N1: NPK en 43.2 % y en 126.4 % de N0: Testigo sin fertilizar. Asimismo, Duncan indica que N3 y N1 son similares estadísticamente, pero difieren de N0, que presenta el menor valor con 45.2 g/planta.

**Rivero (1985)**, halló una alta correlación positiva entre el rendimiento de grano y el rendimiento de broza. **Canahua et al., (2001)**, menciona que después de la cosecha, la quinua presenta una materia seca de 16 ton/ha aproximadamente (incluido grano, tallos y broza).

**Barnett (2005)**, con la variedad La Molina 89, halló que el aporte de N permite superar los valores de m.s. total hallados en el nivel testigo (sin aplicación de N), y su valor se incrementa conforme se eleva la dosis de nitrógeno, pero disminuye con el mayor nivel estudiado (160 kg/ha). Este mismo autor concluye que la variedad La Molina 89, presenta un valor promedio de m.s total de 79.71 g/planta.

**CUADRO 19: Materia seca total y sus componentes**

Factor en estudio	Materia seca de hojas (g/planta)	Materia seca de tallo (g/planta)	Materia seca de panoja (g/planta)	Materia seca total (g/planta)
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>				
D1: 160,000	7.8	26.7	41.0	75.5
D2: 120,000	6.4	26.6	40.7	73.6
D3: 80,000	5.5	27.1	40.4	73.0
<b>Niveles nutricionales</b>				
N0: Testigo	3.1	15.1	27.0	45.2
N1: NPK	7.0	26.2	38.3	71.5
N2: NPK + Ca	9.7	36.2	56.5	102.4
N3: NPK + Ca + Micro	6.3	29.7	41.1	77.0
<b>Promedio General</b>	6.5	26.8	40.7	74.0
<b>Análisis de Variancia</b>				
Fuentes de variación	Significación			
Densidad (D)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Nivel nutricional (N)	**	**	**	**
Interacción (DD x NN)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	39.8	22.1	11.0	14.8



**FIGURA 10: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de hojas (g)**

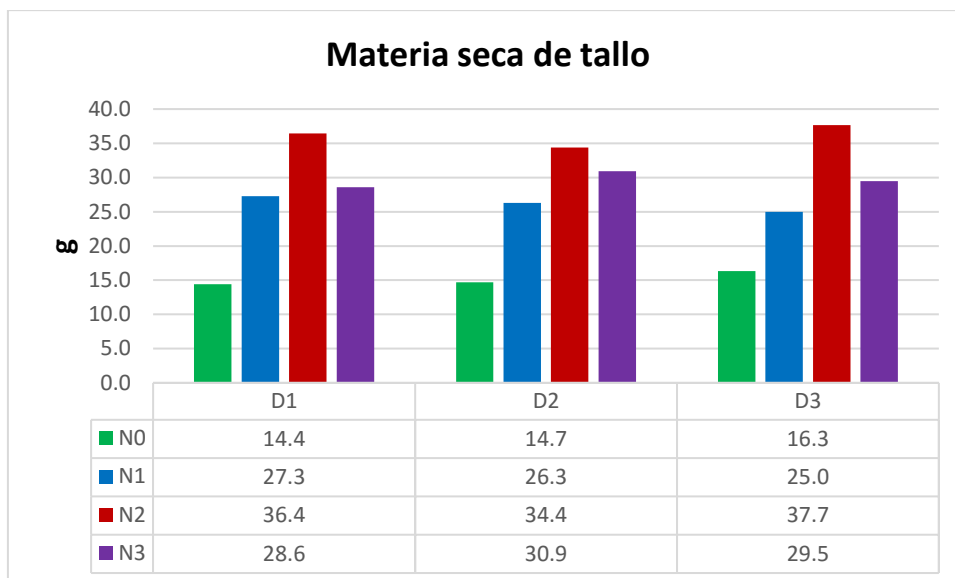
**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de hojas (g/planta) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	7.8	A	143.1
D2 = 120,000	6.4	A	116.5
D3 = 80,000	5.5	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de hojas (g/planta) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	9.7	A	311.9
N1 = NPK	7.0	B	225.6
N3 = NPK + Ca + Micro	6.3	B	200.3
N0 = Testigo	3.1	C	100.0





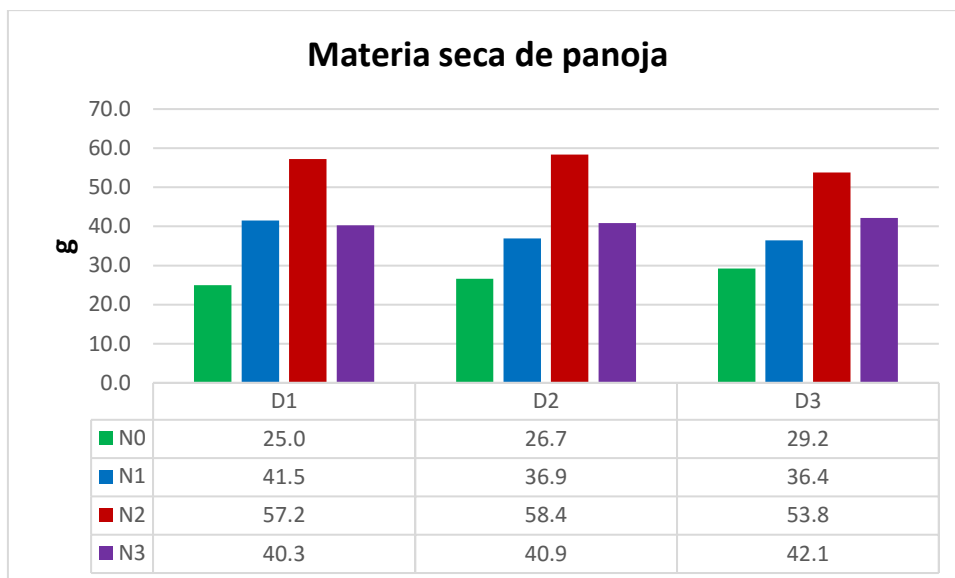
**FIGURA 11: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de tallo (g/planta)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de tallo (g/planta) por densidades de siembra**

Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	27.1	A	102.0
D1 = 160,000	26.7	A	100.4
D2 = 120,000	26.6	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de tallo (g/planta) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	36.2	A	238.8
N3 = NPK + Ca + Micro	29.7	B	196.0
N1 = NPK	26.2	B	172.9
N0 = Testigo	15.1	C	100.0



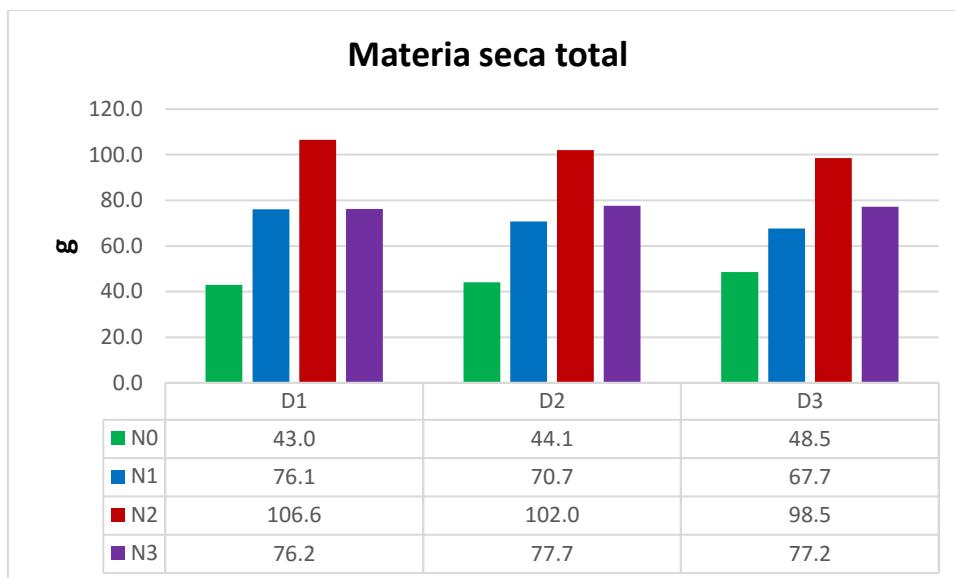
**FIGURA 12: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca de panoja (g/planta)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de panoja (g/planta) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	41.0	A	101.5
D2 = 120,000	40.7	A	100.8
D3 = 80,000	40.4	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca de panoja (g/planta) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	56.5	A	209.5
N3 = NPK + Ca + Micro	41.1	B	152.4
N1 = NPK	38.3	B	142.0
N0 = Testigo	27.0	C	100.0



**FIGURA 13: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en la materia seca total (g/planta)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca total (g/planta) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	75.5	A	103.4
D2 = 120,000	73.6	A	100.9
D3 = 80,000	73.0	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para materia seca total (g/planta) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	102.4	A	226.4
N3 = NPK + Ca + Micro	77.0	B	170.3
N1 = NPK	71.5	B	158.1
N0 = Testigo	45.2	C	100.0

## **4.5 COMPONENTES DE CALIDAD**

El Cuadro 20 presenta los resultados de granulometría de grano de quinua, para diámetros de grano de 2mm, 1.4 mm y 1mm. Al respecto, el análisis de variancia indica que los diámetros de grano no muestran significación estadística para densidad de siembra, para niveles nutricionales y tampoco para los efectos de interacción. Asimismo, el Cuadro 21 presenta los resultados de proteínas, saponinas y porcentaje de humedad de grano de quinua. Al respecto, el análisis de variancia indica que las variables no muestran significación estadística para densidad de siembra, para niveles nutricionales, en cambio, las variables presentan alta significación estadística, excepto el porcentaje de humedad de grano. Los efectos de interacción no son significativos; excepto para porcentaje de saponinas, donde los efectos de interacción son altamente significativos.

### **4.5.1 GRANULOMETRIA**

#### **Granos con diámetro de 2mm**

La prueba de comparación de medias de Duncan para densidad de siembra, indica que las medias son similares en diámetros de 2mm. D1: 160,000 pl/ha presenta el mayor valor con 0.6 %, similar a D2: 120,000 pl/ha que presenta el menor valor con 0.5 %.

De otro lado, la prueba de Duncan para niveles nutricionales indica que el mayor valor caracteriza a N2: NPK + Ca, similar a N3: NPK + Ca + Micro, pero diferente estadísticamente a N1: NPK en 60 % y en 166.7 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor con 0.3 %. Asimismo, Duncan indica que N3, N1 y N0 son similares estadísticamente.

#### **Granos con diámetro de 1.4 mm**

La prueba de medias de Duncan indica para densidad de siembra que el porcentaje de grano con diámetros de 1.4 mm son similares estadísticamente. El mayor valor caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 84.7 % y el menor valor caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 84.3 %.

Asimismo, la prueba de Duncan para niveles nutricionales indica N2: NPK + Ca alcanza el mayor valor con 85.3 %, similar a N3: NPK + Ca + Micro y N1: NPK, pero diferente estadísticamente en 2.6 % a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor con 83.1 %. De otro lado, Duncan muestra que N1 y N0 son similares estadísticamente.

### **Granos con diámetro de 1 mm**

La prueba de medias de Duncan muestra para densidad de siembra que el porcentaje de grano quinua con diámetros de 1 mm son similares estadísticamente. D3: 80,000 pl/ha presenta el mayor valor con 15.2 %, con diferencia porcentual de 2.0 % respecto a D2: 120,000 pl/ha y diferencia porcentual de 3.3 % respecto a D1: 160,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 14.7 %.

De otro lado, la prueba de comparación de medias de Duncan indica para niveles nutricionales, que el mayor valor caracteriza a N0: Testigo con 16.6 %, similar a N1: NPK, pero diferente estadísticamente a N3: NPK + Ca + Micro en 15.3 % y en 18.6 % a N2: NPK + Ca, que presenta el menor valor con 14 %. Asimismo, Duncan muestra que N1, N3 y N2 son similares estadísticamente.

**León (2014)** halló que la variedad La Molina 89, posee granos grandes a medianos y que las limitaciones hídricas durante el periodo crítico de llenado de grano repercutieron en menores diámetros de grano.

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, en la variedad La Molina 89, halló que la mayor proporción de granos, está en el diámetro de 1.4 mm, cuyos valores son 60.1 %, 62.9 % y 63.5 % para sus tratamientos de 200,000; 100,000 y 150,000 plantas/ha respectivamente, siendo este resultado consecuente con lo hallado en este estudio.

#### **4.5.2 PORCENTAJE DE PROTEÍNA EN GRANO (%)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para porcentaje de proteínas muestra que las medias son similares estadísticamente para densidad de siembra. El mayor valor caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 15.9 % de proteínas, con diferencia porcentual de 4.3 % respecto a D2: 120,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 15.3 % de proteínas.

De otro lado, la prueba de Duncan para niveles nutricionales indica que N3: NPK + Ca + Micro alcanza el mayor valor con 16.6 % de proteínas, similar a N2: NPK + Ca, diferente porcentualmente de N1: NPK en 7.8 % y de N0: Testigo sin fertilizar en 15.3 % que presenta el menor valor con 14.4 %.

**Ayala (1977)**, citado por **Canahua et al., (2001)**, encontraron mayor porcentaje de proteína en semillas de menor tamaño. **Canahua et al., (2001)**, indican que el 35 a 40 % de la proteína del grano se halla en el embrión y 6 a 8 % en el epispermo.

**Barnett (2005)**, menciona que la variedad La Molina 89 llega a valores de hasta 16.71% con sistema de fertirriego.

**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 %.

Según **Gómez y Eguiluz (2011)**, el porcentaje de proteína de la quinua varía de 7.0 % a 24.4 %; rango encontrado en la evaluación de 953 accesiones de quinua del Banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

**Gómez y Aguilar (2016)**, indican que el contenido de proteína de las semillas de quinua varía entre 14-22 %, siendo significativamente mayor que la de cereales.

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, observó que la variedad La Molina 89 presenta un valor 14.0 % de proteína en grano.

#### **4.5.3 PORCENTAJE DE SAPONINAS (%)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para porcentaje de saponinas, indica que las medias son similares estadísticamente para densidad de siembra. D2: 120,000 pl/ha alcanza el mayor valor con 1.5 %, diferente porcentualmente en 5.8 %, respecto a D1: 160,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 1.4 %.

En cuanto a los niveles nutricionales, la prueba de Duncan, muestra que el mayor valor caracteriza a N2: NPK + Ca con 1.6 % de saponinas, diferente estadísticamente de N1: NPK en 14.3 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 14.3 % y en 20.9 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0, que muestra el menor valor con 1.3 %.

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**). El contenido de saponina de una variedad de quinua, al ser llevada a otras zonas, puede aumentar o disminuir (**Conrado, 1992**).

La concentración de saponina depende principalmente de la variedad (**Ward, 2000** citado por **Geerts, 2008**). Según **Repo et al., (2003)** el contenido de saponinas en quinua varía de 0,1 a 5 por ciento, pero **Borges et al., (2010)** han encontrado quinuas con hasta 11,3 % de saponina. Las quinuas son dulces cuando el contenido de saponina es menor al 0,11

% o amargas cuando el contenido de saponinas es mayor al 0,11 % (**Koziol, 1993** citado por **Repo et al., 2003**).

**León (2014)**, halló para la Molina 89 un promedio de 1.4% de saponina. **Álvarez (2017, datos por publicar)**, menciona que el porcentaje de saponinas en la variedad La Molina 89 presenta valores de 1.33 %, 1.31 % y 1.24 % para las densidades 200,000, 150,000 y 100,000 plantas/ha respectivamente.

#### **4.5.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)**

La prueba de comparación de medias de Duncan para porcentaje de humedad de granos, muestra que las medias son similares estadísticamente para densidad de siembra. D2: 120,000 pl/ha alcanza el mayor valor con 11.2 % y el menor valor caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 11.1 %.

De otro lado, Duncan muestra para niveles nutricionales, que el mayor valor caracteriza a N2: NPK + Ca con 11.2 %, similar estadísticamente a N3: NPK + Ca + Micro y N1: NPK, pero diferente estadísticamente en 1.5 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor. Asimismo, la prueba de Duncan indica que N3, N1 y N0 son similares estadísticamente.

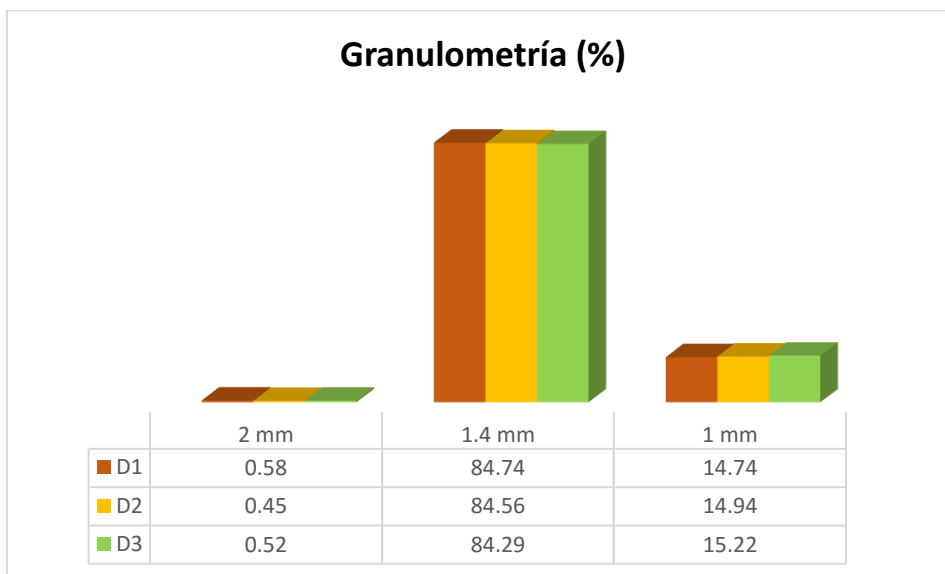
**León (2014)**, dice que a nivel comercial, el contenido de humedad aceptado es de 12 %.

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, halló valores de porcentaje de humedad de 11.4 %, 11.2 %, 11.1 %, con densidades de 200,000, 150,000 y 100,000 plantas/ha respectivamente, con la variedad La Molina 89; valores muy similares a los hallados en este estudio.

**CUADRO 20: Granulometría de grano de quinua**

Factor en estudio	Grano de 2 mm (%)	Grano de 1.4 mm (%)	Grano de 1 mm (%)
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>			
D1: 160,000	0.6	84.7	14.7
D2: 120,000	0.5	84.6	14.9
D3: 80,000	0.5	84.3	15.2
<b>Niveles nutricionales</b>			
N0: Testigo	0.3	83.1	16.6
N1: NPK	0.5	84.7	14.9
N2: NPK + Ca	0.8	85.3	14.0
N3: NPK + Ca + Micro	0.6	85.0	14.4
<b>Promedio General</b>	0.5	84.5	15.0
<b>Análisis de Variancia</b>			
Fuentes de variación	Significación		
Densidad (D)	n.s	n.s	n.s
Nivel nutricional (N)	n.s	n.s	n.s
Interacción (DD x NN)	n.s	n.s	n.s
CV (%)	62.3	2.5	15.9





**FIGURA 14: Proporción de diámetros de grano (%) en el cultivo de quinua, variedad La Molina 89**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 2 mm (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	0.6	A	128.9
D3 = 80,000	0.5	A	115.6
D2 = 120,000	0.5	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 2 mm (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	0.8	A	262.1
N3 = NPK + Ca + Micro	0.7	AB	193.1
N1 = NPK	0.5	B	155.2
N0 = Testigo	0.3	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 1.4 mm (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	84.7	A	100.5
D2 = 120,000	84.6	A	100.3
D3 = 80,000	84.3	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 1.4 mm (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	85.3	A	102.6
N3 = NPK + Ca + Micro	85.0	A	102.3
N1 = NPK	84.7	AB	101.9
N0 = Testigo	83.1	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 1 mm (%) por densidades de siembra**

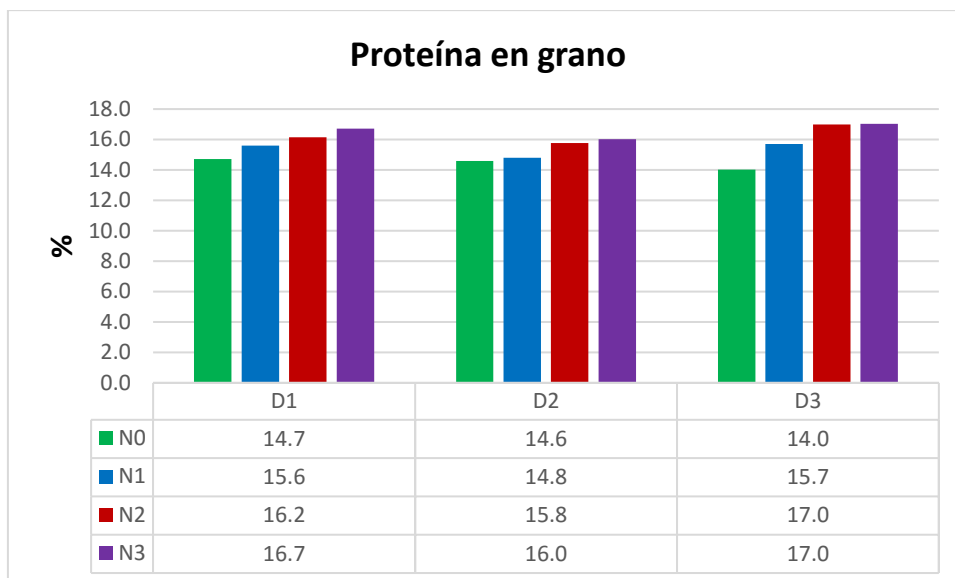
Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	15.2	A	103.3
D2 = 120,000	14.9	A	101.4
D1 = 160,000	14.7	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para granos con diámetro de 1 mm (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N0 = Testigo	16.6	A	118.6
N1 = NPK	14.9	AB	106.5
N3 = NPK + Ca + Micro	14.4	B	102.6
N2= NPK + Ca	14.0	B	100.0

**CUADRO 21: Componentes de calidad del grano de quinua**

Factor en estudio	Proteína (%)	Saponinas (%)	Humedad (%)
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>			
D1: 160,000	15.8	1.4	11.1
D2: 120,000	15.3	1.4	11.2
D3: 80,000	15.9	1.5	11.1
<b>Niveles nutricionales</b>			
N0: Testigo	14.4	1.3	11.0
N1: NPK	15.4	1.4	11.1
N2: NPK + Ca	16.3	1.6	11.2
N3: NPK + Ca + Micro	16.6	1.4	11.2
<b>Promedio General</b>	15.7	1.4	11.1
<b>Análisis de Variancia</b>			
Fuentes de variación	Significación		
Densidad (D)	n.s.	n.s	n.s.
Nivel nutricional (N)	**	**	n.s.
Interacción (DD x NN)	n.s.	**	n.s.
CV (%)	7.2	3.3	1.6



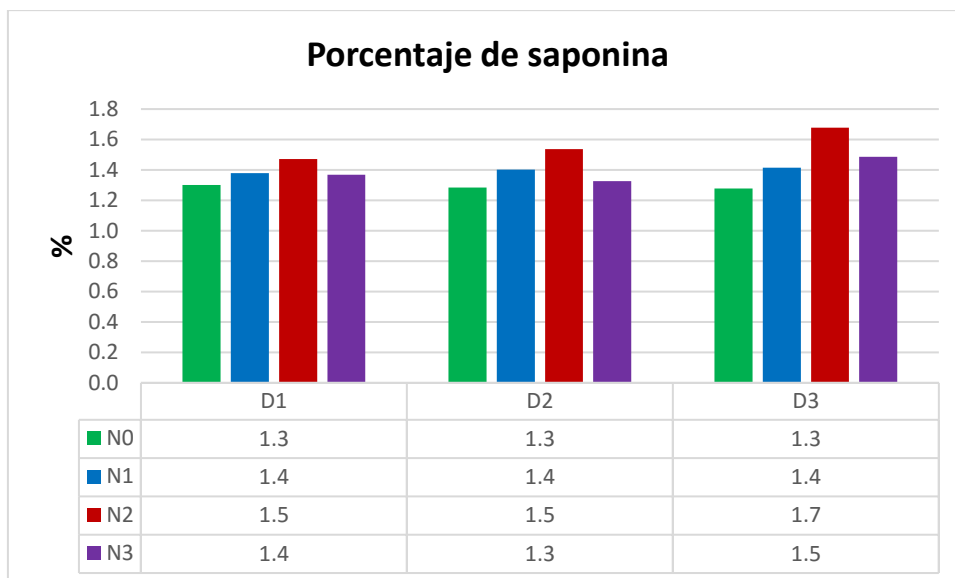
**FIGURA 15: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el porcentaje de proteína en grano (%)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de proteína en grano (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	15.9	A	104.3
D1 = 160,000	15.8	A	103.3
D2 = 120,000	15.3	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de proteína en grano (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N3 = NPK + Ca + Micro	16.6	A	115.3
N2 = NPK + Ca	16.3	A	113.2
N1 = NPK	15.4	B	106.4
N0 = Testigo	14.4	C	100.0



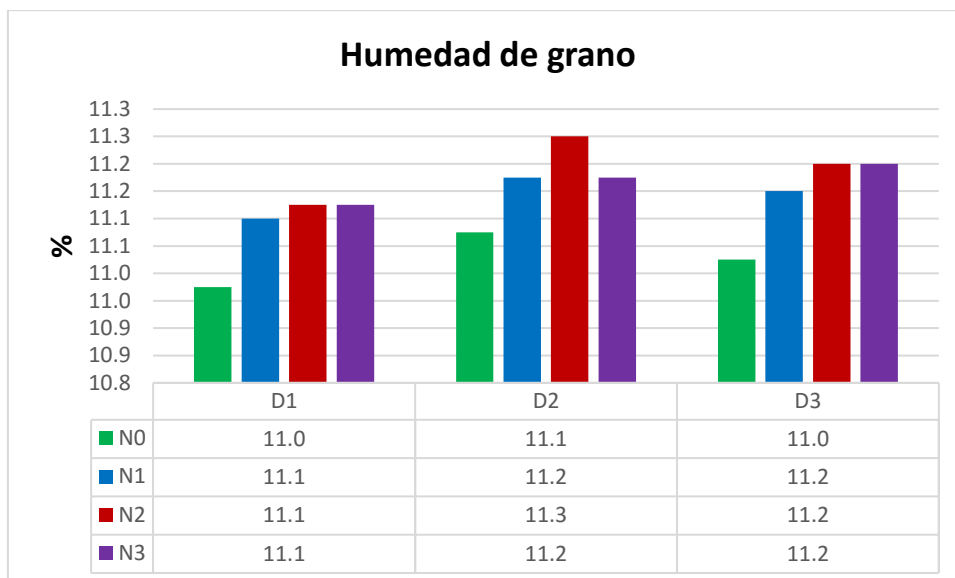
**FIGURA 16: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional, en el porcentaje de saponina (%)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de saponinas del grano (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D2 = 120,000	1.5	A	105.8
D3 = 80,000	1.4	A	100.7
D1 = 160,000	1.4	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de saponina del grano (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	1.6	A	120.9
N1 = NPK	1.4	B	108.5
N3 = NPK + Ca + Micro	1.4	B	107.8
N0 = Testigo	1.3	C	100.0



**FIGURA 17: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el porcentaje de humedad del grano (%)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de humedad del grano (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D2 = 120,000	11.2	A	100.8
D3 = 80,000	11.1	A	100.5
D1 = 160,000	11.1	A	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de humedad del grano (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	11.2	A	101.5
N3 = NPK + Ca + Micro	11.2	AB	101.3
N1 = NPK	11.1	AB	101.0
N0 = Testigo	11.0	B	100.0

## 4.6 PARÁMETROS AGRONÓMICOS

En el Cuadro 22 se presenta los valores de los parámetros agronómicos registrados en el presente estudio, cabe resaltar que el requerimiento de riego fue de 2,750 m<sup>3</sup>/ha. Al respecto, el análisis de variancia indica que excepto el uso eficiente de agua (UEA), todos los demás parámetros muestran significación estadística para densidad de siembra. Para niveles nutricionales, en cambio, todas las variables presentan alta significación estadística. Los efectos de interacción no son significativos en las variables evaluadas.

### 4.6.1 EFICIENCIA DE USO DE AGUA – EUA (kg/m<sup>3</sup>)

La prueba de comparación de medias de Duncan muestra que las medias son similares estadísticamente para densidad de siembra. El mayor valor caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 1.38 kg/m<sup>3</sup>, con diferencia porcentual de 5.3 % respecto a D2: 120,000 pl/ha y 7.8 % respecto a D3: 80,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 1.28 kg/m<sup>3</sup>.

De otro lado, la prueba de Duncan para los niveles nutricionales indica que N2: NPK + Ca presenta el mayor valor con 1.53 kg/m<sup>3</sup>, diferente estadísticamente de N3: NPK + Ca + Micro en 13.3 %, también de N1: NPK en 15.9 % y en 39.1 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar que presenta el menor valor con 1.10 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, Duncan muestra que N3 y N1 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

Los valores obtenidos en este estudio, alcanzaron valores similares a los hallados por **Barnett (2005)**, con la variedad La Molina 89, obtuvo un valor promedio de EUA de 1.21 kg/m<sup>3</sup>.

**Álvarez (2017)**, datos por publicar, para la variedad la Molina 89 encontró valores de 0.69, 0.91 y 1.05 kg/m<sup>3</sup> de EUA, para densidades de siembra de 100,000 pl/ha, 150,000 pl/ha y 200,000 pl/ha respectivamente.

### 4.6.2 COEFICIENTE DE TRANSPIRACIÓN – CT (l/kg)

En la prueba de comparación de medias de Duncan para densidad de siembra, muestra que D3: 80,000 pl/ha alcanza el mayor valor con 458.1 l/kg, similar estadísticamente a D2: 120,000 pl/ha y diferente estadísticamente en 93.6 % respecto a D1: 160,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 139.5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. También indica que D2 y D1 difieren estadísticamente y porcentualmente en 30.6 %.



De otro lado, la prueba de comparación de medias de Duncan, muestra que el mayor valor caracteriza a N0: Testigo con 496.6 l/kg, diferente estadísticamente de N1: NPK en 54.8 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 69.8 % y en 117.5 % respecto a N2: NPK + Ca. Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N2, que presenta el menor valor con 228.3 l/kg.

**Barnett (2005)**, con la variedad La Molina 89, obtuvo un valor de CT de 251.31 l/kg, similar al valor promedio hallado en este estudio.

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, para la variedad La Molina 89 con densidades de siembra de 100,000 pl/ha, 150,000 pl/ha y 200,000 pl/ha, halló valores de CT de 444.2 l/kg, 272.4 l/kg y 320.3 l/kg respectivamente.

#### **4.6.3 INDICE DE AREA FOLIAR – IAF ( $m^2/m^2$ )**

La prueba de comparación de medias de Duncan para densidad de siembra indica que el índice de área foliar, indica que el mayor valor caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 327  $m^2/m^2$  similar a D2: 120,000 pl/ha, pero con diferencia estadística de 134.5 % respecto a D3: 80,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 139.5  $m^2/m^2$ .

De otro lado, la prueba de Duncan muestra que el mayor valor caracteriza a N2: NPK + Ca con 349.2  $m^2/m^2$ , diferente estadísticamente de N1: NPK en 36.1 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 45.4 % y en 206 % respecto a N0: Testigo sin fertilizar, que presenta el menor valor con 114.1  $m^2/m^2$ . Asimismo, Duncan indica que N1 y N3 son similares estadísticamente, pero difieren de N0.

**Burín (2016)**, bajo tres láminas de riego, obtuvo como resultado valores de IAF de 0.95; 0.81 y 0.54  $m^2/m^2$  para la variedad 415-Pasankalla, para la variedad Altiplano valores de 0.97; 0.57 y 0.47  $m^2/m^2$ , para la variedad Salcedo-INIA valores de IAF de 1.25, 0.42 y 0.57. Finalmente, para la variedad Kancolla obtuvo valores de IAF de 0.75, 0.48 y de 0.55  $m^2/m^2$ .

**Álvarez (2017, datos por publicar)**, obtuvo con la variedad La Molina 89 para las densidades de siembra de 100,000 pl/ha, 150,000 pl/ha y 200,000 plantas/ha de 0.18  $m^2/m^2$ , 0.32  $m^2/m^2$  y 0.25  $m^2/m^2$  respectivamente.

#### 4.6.4 INDICE DE COSECHA – IC (%)

La prueba de comparación de medias de Duncan para el índice de cosecha, indica que el mayor valor caracteriza a D3: 80,000 pl/ha con 53.8 %, diferente estadísticamente de D2: 120,000 pl/ha en 42.7 % y en 82.4 % respecto a D1: 160,000 pl/ha, que presenta el menor valor con 29.5 %.

De otro lado, la prueba de Duncan para niveles nutricionales muestra que N0: Testigo alcanza el mayor valor con 51.8 %, diferente estadísticamente de N1: NPK en 28.5 %, también de N3: NPK + Ca + Micro en 40.8 % y en 59.3 % respecto a N2: NPK + Ca, que presenta el menor con 32.5 %. Asimismo, Duncan indica que N1 y N2 son similares estadísticamente, pero difieren de N2.

**Mercedes (2005)** obtuvo índices de cosecha de 22,5 % en la zona de La Molina, bajo estrés hídrico y de 20,9 % en la zona normalmente irrigada, en costa central. Así mismo, **Barnett (2005)**, con la variedad La Molina 89, halló un valor de IC de 32.7 %.

El índice de cosecha (IC) promedio en quinua es 30 % (**Canahua et al, 2001; Mujica et al., 2001**; citados por **Quillatupa, 2009**), con un variación de 21 a 45 % dependiendo de las variedades. Los valores promedio hallados en este ensayo se encuentran en el rango mencionado.

En tanto, **Quillatupa (2009)**, en una comparación de 16 genotipos de quinua, observó que las accesiones con mejores IC se destacan por su buen tamaño de grano, menor altura de planta, y son más precoces. Por otro lado, aquellas con IC más bajo tuvieron en común plantas muy altas, con poca producción de granos por planta y tardías.

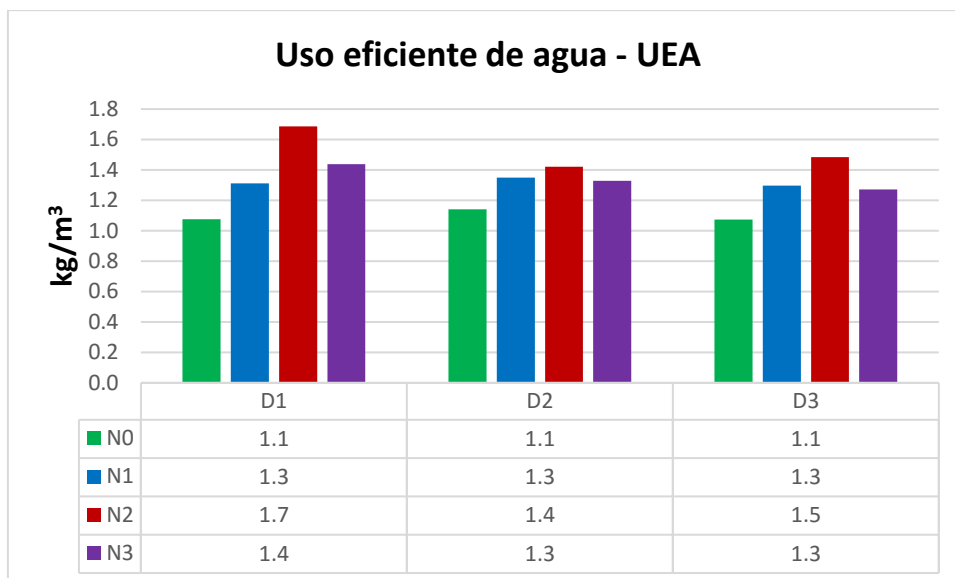
**Ríos (2010)**, enfatiza que la quinua no ha sido mejorada en este aspecto, hallándose una alta proporción de genotipos que producen mucho follaje y pocos granos.

Para la variedad La Malina 89, resultados hallados por **Huamancusi (2012)** y **Apaza (1995)**, encontraron índices de cosecha de 35 % y 27.6 % respectivamente.

El índice de cosecha de quinua en el campo, informado en varios experimentos, se encuentra entre 30 y 50 % y su variación depende de las variedades (**FAO et al., 2012**).

**CUADRO 22: Parámetros agronómicos para el cultivo de quinua**

Factor en estudio	EUA (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. de transpiración- CT (l/kg)	IAF (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Índice de cosecha- IC (%)
<b>Densidades de siembra (plantas/ha)</b>				
D1: 160,000	1.38	236.6	327.0	29.5
D2: 120,000	1.31	309.0	253.6	37.7
D3: 80,000	1.28	458.1	139.5	53.8
<b>Niveles nutricionales</b>				
N0: Testigo	1.10	496.6	114.1	51.8
N1: NPK	1.32	320.8	256.6	40.3
N2: NPK + Ca	1.53	228.3	349.2	32.5
N3: NPK + Ca + Micro	1.35	292.4	240.2	36.8
<b>Promedio General</b>	1.32	334.5	240.0	40.3
<b>Análisis de Variancia</b>				
Fuentes de variación	Significación			
Densidad (D)	n.s.	**	**	**
Nivel nutricional (N)	**	**	**	**
Interacción (DD x NN)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	9.0	11.4	37.4	10



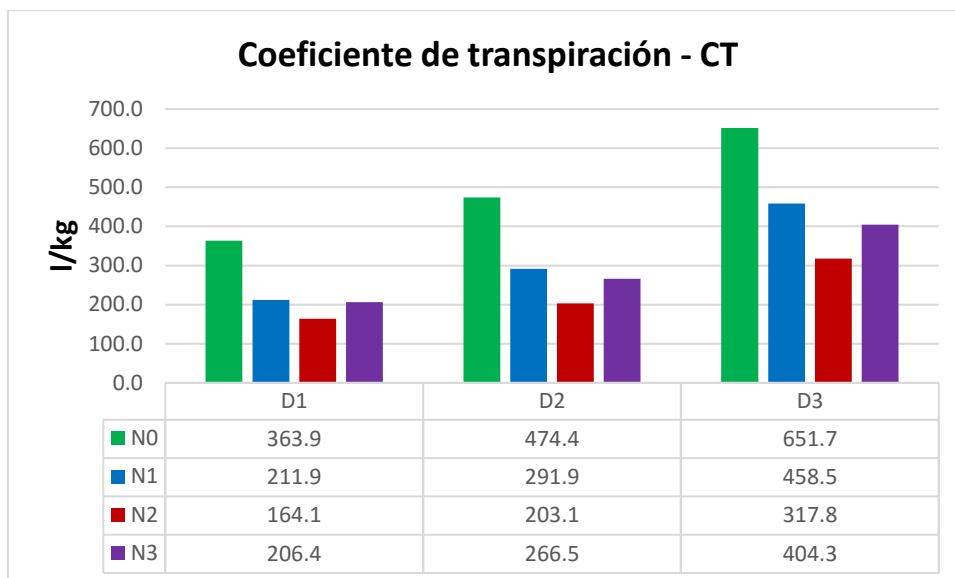
**FIGURA 18:** Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el uso eficiente de agua - EUA ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para uso eficiente del agua - UEA ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) por densidades de siembra

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	1.38	A	107.8
D2 = 120,000	1.31	A	102.3
D3 = 80,000	1.28	A	100.0

Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para uso eficiente de agua- UEA ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) por niveles nutricionales

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	1.53	A	139.1
N3 = NPK + Ca + Micro	1.35	B	122.7
N1 = NPK	1.32	B	120.0
N0 = Testigo	1.10	C	100.0



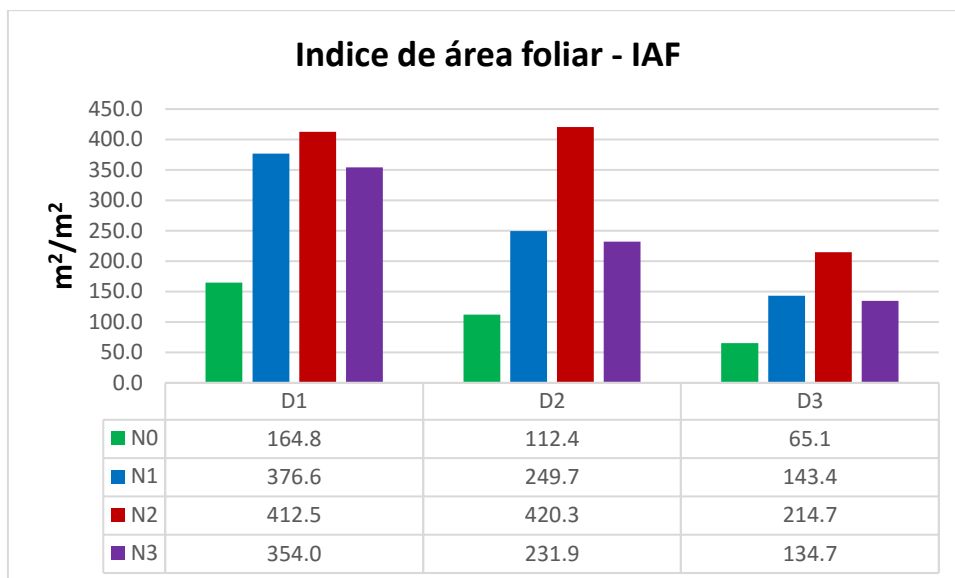
**FIGURA 19: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el coeficiente de transpiración - CT (l/kg)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para coeficiente de transpiración- CT (l/kg) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	458.1	A	193.6
D2 = 120,000	309.0	B	130.6
D1 = 160,000	236.6	C	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para coeficiente de transpiración- CT (l/kg) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N0 = Testigo	496.6	A	217.5
N1 = NPK	320.8	B	140.5
N3 = NPK + Ca + Micro	292.4	B	128.1
N2= NPK + Ca	228.3	C	100.0



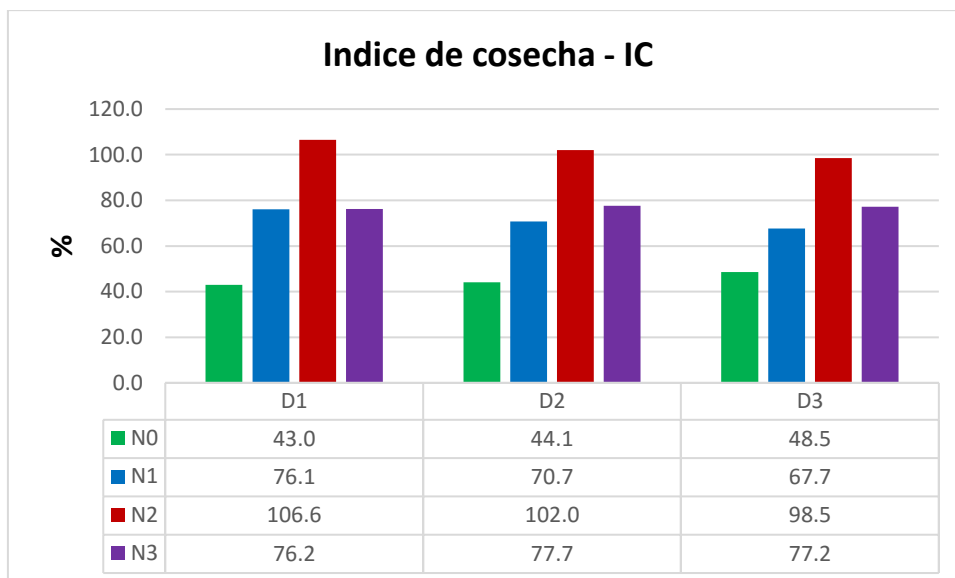
**FIGURA 20: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el índice de área foliar- IAF ( $m^2/m^2$ )**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para índice de área foliar - IAF ( $m^2/m^2$ ) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D1 = 160,000	327.0	A	234.5
D2 = 120,000	253.6	A	181.9
D3 = 80,000	139.5	B	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para índice de área foliar- IAF ( $m^2/m^2$ ) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N2 = NPK + Ca	349.2	A	306.1
N1 = NPK	256.6	B	224.9
N3 = NPK + Ca + Micro	240.2	B	210.5
N0 = Testigo	114.1	C	100.0



**FIGURA 21: Respuesta de la densidad de siembra y del nivel nutricional en el índice de cosecha- IC (%)**

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para índice de cosecha - IC (%) por densidades de siembra**

Densidad Plantas/ha	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
D3 = 80,000	53.8	A	182.4
D2 = 120,000	37.7	B	127.9
D1 = 160,000	29.5	C	100.0

**Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para índice de cosecha- IC (%) por niveles nutricionales**

Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	% $\Delta$
N0 = Testigo	51.8	A	159.3
N1 = NPK	40.3	B	124.0
N3 = NPK + Ca + Micro	36.8	B	113.4
N2= NPK + Ca	32.5	C	100.0

#### 4.7 ANÁLISIS AGROECONÓMICO

El Cuadro 23, presenta el análisis agroeconómico de las tres densidades de siembra de quinua en relación a cuatro niveles nutricionales en estudio, bajo riego por goteo.

Al respecto, los índices de rentabilidad (IR) para densidades de siembra indican que el mayor IR% caracteriza a D1: 160,000 pl/ha con 67.6 % y disminuye conforme las poblaciones de plantas son menores con valores de 62.3 % para D2: 120,000 pl/ha y con 58.8 % en D3: 80,000 pl/ha. Las utilidades netas siguen la misma tendencia

Para niveles nutricionales, los índices de rentabilidad indican que el mayor IR% se presenta a nivel del testigo no fertilizado con 87.7 % y disminuye conforme el nivel de fertilización determina un nivel nutricional más complejo. Así, para las condiciones de N2: NPK + Ca el índice de rentabilidad es 64.2 %, para N1: NPK es 63.3 % y para N3: NPK + Ca + Microelementos es 36.3 %. Sin embargo, las utilidades netas muestran tendencias diferentes. N2 presenta la máxima utilidad con 9,052 soles/ha, disminuye en N1 y en el testigo y presenta su valor más bajo a nivel de N3 con 5,422 soles/ha, lo cual se relaciona a su disminuido rendimiento y sus altos costos de producción. Finalmente, el máximo índice de rentabilidad se presenta a nivel del testigo no fertilizado con 120,000 pl/ha. Sin embargo la máxima utilidad neta se presenta a nivel de N2: NPK + Ca con 160,000 plantas/ha, alcanzando un valor de 11,357 soles/ha

El costo de producción de la quinua por hectárea, empleando un nivel alto de tecnología permite obtener una Utilidad Neta (UN) de 819 como mínimo y 2,247 como máximo, con la Utilidad mínima se obtiene un 54 % de Índice de Rentabilidad (IR), en tanto que con la Utilidad máxima se obtiene un IR de 61 % (Coila *et al.*, 2001).

El costo de producción de la variedad La Molina 89, presenta un IR de 59.3 % con una Utilidad de s/. 631.39/ha (Apaza, 1995). La variedad La Molina 89 presentó bajo riego por goteo un IR de 15.44 % y una Utilidad de s/. 412.3 soles/ha (Tapia, 2003).

Barnett (2005), con la variedad La Molina 89, halló un costo de producción promedio de s/. 6,501.5, un valor bruto de producción de s/. 7,589.2 y una UN de s/. 1,087.7.

Álvarez (2017, datos por publicar), para la variedad La Molina 89, con densidades de 100,000; 150,000 y 200,000 plantas/ha, halló UN de s/. 8,933.0, s/. 13,821.0 y s/. 17,580.0 respectivamente.



**CUADRO 23: Análisis agroeconómico para el cultivo de quinua**

Factores		Rendimiento (kg/ha)	Valor bruto de la Producción (S/.)	Costo total de la Producción (S/.)	Utilidad Neta (S/.)	Índice de Rentabilidad (%)
D1	N0	2,961	16,286	8,891	7,395	83.2
	N1	3,609	19,851	12,270	7,581	61.8
	N2	4,637	25,504	14,147	11,357	80.3
	N3	3,953	21,740	14,989	6,751	45.0
	Promedio	3,790	20,845	12,574	8,271	67.6
D2	N0	3,139	17,262	8,841	8,421	95.3
	N1	3,712	20,414	12,220	8,194	67.1
	N2	3,906	21,481	14,097	7,385	52.4
	N3	3,654	20,096	14,939	5,157	34.5
	Promedio	3,602	19,813	12,524	7,289	62.3
D3	N0	2,953	16,242	8,791	7,451	84.8
	N1	3,566	19,611	12,170	7,441	61.1
	N2	4,084	22,461	14,047	8,415	59.9
	N3	3,500	19,248	14,889	4,358	29.3
	Promedio	3,526	19,391	12,474	6,917	58.8
<b>Promedio general</b>		3,639	20,016	12,524	7,492	62.9

## V. CONCLUSIONES

### **Objetivo 1:**

El nivel nutricional NPK + Ca, en las tres densidades de siembra 160,000, 120,000 y 80,000 plantas/ha, obtuvo los mayores rendimientos de grano de quinua, con 4,637; 3,906 y 4,084 kg/ha respectivamente.

El peso grano/panoja y peso de 1000 granos presentan diferencias estadísticas para niveles nutricionales. Para densidades de siembra solo el peso de grano/panoja es significativo y los mayores valores se presentan a nivel NPK + Ca con 80,000 pl/ha.

En general, las variables de crecimiento, excepto altura de planta, no presentan diferencias estadísticas para densidades de siembra. Para niveles nutricionales todas las variables presentan diferencias altamente significativas.

Para los componentes de la calidad del grano las diferencias son altamente significativas, el mayor resultado para saponinas caracteriza al nivel nutricional NPK + Ca con 1.6 % y el mejor resultado para proteínas caracteriza al nivel nutricional NPK + Ca + Micro con 16.6 %.

### **Objetivo 2:**

No se detectó significación para la interacción densidades x niveles nutricionales, excepto para el porcentaje de saponinas, en el que la interacción resultó altamente significativa.

### **Objetivo 3:**

Con un ciclo vegetativo de 155 días y un requerimiento de riego de 2,750 m<sup>3</sup>/ha, la mayor eficiencia de uso de agua (EUA) con 1.53 kg/m<sup>3</sup>, el mayor índice de área foliar (IAF) con 349.2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> y el menor índice de cosecha (IC%) con 32.5 %, se presenta a nivel de NPK + Ca. El Testigo no fertilizado presenta el mayor coeficiente de transpiración con 496 l/kg.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda seguir realizando investigaciones con mayores densidades de siembra por metro cuadrado.
2. Realizar estudios sobre la respuesta de la quinua a la fertilización con calcio y otros nutrientes.
3. Se recomienda utilizar quelatos para dilución y la aplicación de fertilizantes, así evitar posibles interacciones negativas con el agua, suelo u otros nutrientes.
4. Probar nuevas variedades de quinua para evaluar su rendimiento, calidad y adaptaciones de Costa.
5. Se recomienda utilizar semillas de calidad genética.
6. Realizar estudios de tipos de siembra directa y trasplante.

## VII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

AGROBANCO. 2012. Manejo del cultivo de quinua. Manual Técnico elaborado por OAEPS- UNALM. 40 pág.

AGUILAR, P. Y JACOBSEN S. 2003. Cultivation of quinoa on the peruvian altiplano. Food reviews international, 19:1. Pp. 31-41.

ÁLVAREZ, C. 2017. Rendimiento y crecimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo tres densidades de siembra en riego por goteo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. SP

APAZA TAPIA, W. 1995. Efectos de densidad y niveles de fertilidad en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en costa central. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 112 pág.

APAZA, V. 2006. Producción de quinua de calidad. Editado por el INIA. Impreso en Puno. Pp 2, 5,6.

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 para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM. Lima, Perú. 139 pág.

BÁLSAMO, M. 2002. Desarrollo y evaluación de un método para la determinación de saponinas. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM.

BARCELLÓ, J. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Pirámide S.A. Madrid, España. 750 pág.

BARCELÓ, J., NICOLÁS, G., SABATER, B. Y SÁNCHEZ, R. 1995. Fisiología vegetal, 2da edición. Ediciones Pirámide S.A. Madrid, España. 662 pág.

BARNETT, A. 2005. Efectos de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo riego por goteo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

BARTOLINI, R.1989. La fertilidad de los suelos; terreno, planta, fertilizantes. Traducido del italiano por Rafael Espejo. Editorial Mundiprensa. Madrid, España. 140 pág.

BAZILE, D., BERTERO, D., NIETO, C. 2014. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).724 pág.

BIDWELL, G. 1993.Fisiología Vegetal. 1ra.Edición. AGT Editor. México D.F. 784 pág.

BLANCO, C. 1969. La Quinua; Como se debe cultivar. Universidad Técnica de Oruro. Bolivia.

BORGES, J., BONOMO, R., PAULA, C., OLIVEIRA, L. Y CESÁRIO, M. 2010. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Physicochemical and nutritional characteristics and uses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) TEMAS AGRARIOS. Vol. 15. N° 1. Pp. 9 - 23.

BURÍN, Y. 2016. Rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 125 pág.

CANAHUA, A., MUJICA, A. Y SARAVIA, R. 2001. Agronomía del cultivo de la quinua. En Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro”, Cap. II. Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. 18 pág.

CÁRDENAS, M. 1944. Descripción preliminar de las variedades de *Chenopodium quinoa* de Bolivia. Revista de Agricultura. Universidad Mayor San Simón de Cochabamba (Bol.) Vol. 2, No. 2. Pp. 13-26

COILA, J., QUISPE, P. Y MUJICA, A. 2001. Aspectos Económicos de la Producción de Quinoa. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del presente y Futuro, Cap. X. Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile. 24 pág.

CONRADO, E. 1992. Elaboración de un concentrado proteico de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para obtener el Grado de Magister Scientiae. UNALM. Lima, Perú.

DELGADO, P. 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Des, Nariño (Colombia). (En línea). Agronomía Colombiana, Vol. 27, núm. 2 (2009). Consultado 15 diciembre 2015. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/ojs/index.php/agrocollrt/printerFriendly/11125/37760>

DIARIO GESTIÓN. 20 de enero 2015. MINAGRI: Perú es el principal productor de quinua del mundo según la FAO. Gestión. Recuperado el 24 de abril de 2015, de <http://gestion.pe/economia/minagri-peru-principal-productor-quinua-mundo-segun-organismos-internacionales-2121076#comentarios>

DIARIO GESTIÓN. 10 de marzo 2016. Perú se consolidó como primer exportador de quinua a nivel mundial. Gestión. Recuperado el 4 de noviembre de 2017, de: <http://gestion.pe/economia/peru-se-consolido-como-primer-exportador-quinua-nivel-mundial-2156129>

DIARIO GESTIÓN. 4 de julio 2017. Minagri impulsa duplicar el consumo de granos andinos en los próximos cinco años. Gestión. Recuperado el 4 de noviembre de 2017 de: <https://gestion.pe/economia/minagri-impulsa-duplicar-consumo-granos-andinos-proximos-cinco-anos-138664>

DOMINGUEZ, V.A. 1997. Tratado de fertilización. Editorial Mundi Prensa. 3ra edición. Madrid, España. 601 pág.

ECHEGARAY, T. 2003. Evaluación de métodos de cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), bajo condiciones de costa. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 27 pág.

FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 83 pág.

FAO. 2011. Under-utilized Andean food crops. Latin America and the Caribbean. Rome, Italy.

FAO. 2012. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), University of Cardaba and las - csic, Ku Leuven University and University of California. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE. PAPER 66. Pp. 230 - 235.

FIXEN, P.E. 2010. Eficiencia de uso de nutrientes el contexto de agricultura sostenible. (En línea). Informaciones Agronómicas. N° 76. Pp. 9. Intemational Plant Nutrition Institute. Consultado 20 diciembre 2014. Disponible en: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/eficienciausodenutrientesFixen.pdf>

- FISCHER, S., WILKENS, R., JARA, J., ARANDA, M. 2013. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to drought stress. *Industrial Crops and Products* no. 46. Pp.341-347
- GANDARILLAS, H. 1968. Razas de quinua. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. Instituto Boliviano de Cultivos Andinos. La Paz, Bolivia.
- GANDARILLAS, H.1979. Mejoramiento de la Quinua. En: La Quinua y la Kañiwa: Cultivos Andinos. M. Tapia (ed.). Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo, Santafé de Bogotá. Pp. 65-82
- GARCIA, P. LUCENA, J. RUANO, S. NOGALES, M. 2009. Guía de práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte I. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Pp. 2, 20 y 46.
- GEERTS, S. 2008. Deficit Irrigation strategies via crop water productivity modeling: Field research of quinoa in the Bolivian Altiplano. *Disertaciones en Agricultura*. Facultad de Bio - ingenieursswetenschappen de Katholieke Universiteit Leuven. 211 pág.
- GÓMEZ, L. Y EGUILUZ, A. 2011. Catálogo del banco de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Universidad nacional agraria la molina.
- GÓMEZ, L. Y AGUILAR, E. 2012. Manual del cultivo de quinua. Editado por el proyecto VLIR/UNALM. Impreso en Lima, Perú. Pp. 8-22, 25, 26, 30,32 y 33.
- GÓMEZ, L. Y AGUILAR, E. 2013. Manual de cultivo de la quinua. Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos, Facultad de Agronomía, La Molina. Lima- Perú.
- GOMEZ, L. 2015. Guía de cereales menores y granos nativos. 2da parte. Programa de cereales de la UNALM. La Molina-Perú. Pp.13, 26, 41, 16, 131, 152 y 153.
- GÓMEZ, L. Y AGUILAR, E. 2016. Guía de cultivo de la quinua. FAO - Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
- GONZALEZ, J., KONISHI, Y., BRUNO, M., VALOYA, M. Y PRADOC, F. 2012. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Pp. 1222-1229.

GROSS, A. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi-Prensa Madrid España.

HEISSER, C. Y D. NELSON. 1974. On the origin of the cultivated chenopods (*Chenopodium*). Genetic 78. Pp. 503-505

HUAMANCUSI, J. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la modalidad de aplicación de micronutrientes en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 104 pág.

JACOBSEN, S. E. Y MUJICA, A. 1999. I curso internacional sobre Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Puno -PE, CIP- Universidad Nacional del Altiplano. 79 pág.

JULON, W. 2016. Resultado de dos sistemas de cultivo en el rendimiento, calidad y rentabilidad de quinua (*Chenopodium quinoa* willd) en costa central. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 123 pág.

KOZIOL, M. J. 1990. Desarrollo del Método para determinar el contenido de saponinas en la quinua. Latinreco S.A. Quito, Ecuador.

KOZIOL, M. J. 1992. Chemical composition and nutritional value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Food Composition and Analysis 5. Pp.35-68.

LEÓN, J. 2003. Cultivo de la quinua en Puno-Perú. Descripción, Manejo y Producción. Pp 26 y 27.

LEÓN, R. 2014. Respuesta del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) línea mutante la molina 89-77 a tres regímenes de riego, en condiciones de la molina. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.

LEÓN, G. 2017. Los biofertilizantes en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en el valle del Mantaro. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 101 pág.

LEONARDO, V.1985. Estudio de cuatro densidades de siembra y tres niveles de abonamiento en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 82 pág.



LESCANO, J. 1994. Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. Programa Interinstitucional de Waru Waru, Convenio INADE/PELT - COTESU. 459 pág.

MARSCHNER, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press. Londres. 757 pág.

MEDRANO ECHALAR, A.M. 2010. Expansión del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y calidad de suelos. Análisis en un contexto de sostenibilidad en el intersalar Boliviano. Tesis (Maestría en Ciencias Ambientales). México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. 217 pág.

MENDOZA, S, V. del P. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 138 pág.

MENGEL, K. Y KIRKBY, E. 1978. Principles of Plant Nutrition. International potash institute. Wonblaufen-Bern, Switzerland. 594 pág.

MENGEL, K. Y KIRKBY, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th. Ed. International Potash Institute. 687 pág.

MERCEDES, W .H. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 91 pág.

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/cmslmedia/16/13709771404480/manual-defertilizacion-de-la-quinua-def.pdf>.

MUJICA, A. 1992. Granos y leguminosas andinas. In: J. Hernández, J. Bermejo y J. León (eds). Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. Pp 129-146.

MUJICA, A. 1993. Cultivo de Quinua. INIA-DGIA. Serie Manual N° 11-93 Lima, Perú.

MUJICA, A. 1997. Cultivo de quinua. Editado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Impreso en Lima. Pp. 9 – 18, 27 – 30, 35-38, 51, 61, 64-80, 108.

MUJICA, A.; CANAHUA, A Y SARAVIA, R. 2001. Agronomía del cultivo de la Quinua. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”, cap. II Versión 1.0. Santiago, Chile. En CD ROM.

MUJICA, A.; IZQUIERDO, J. Y MARATHEE, J. 2001. Origen y descripción de la Quinua. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro”, cap. I Versión 1.0, Santiago, Chile. En CD ROM.

MUÑOZ, L., MONTEROS, C., MONTESDEOCA, P. 1990. A cocinar con quinua. EE. Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.

NUÑEZ, R. SALGADO, S. 2010. Manejo de Fertilizante Químicos y Orgánicos. Primera Edición. Editorial Aedos, S.A. Pp. 34, 35, 41, 49, 51, 104,117.

ORTIZ, R., DANIELSEN, S., AMES, T. Y CASTRO, A. 2001. Plagas y Enfermedades. En: Food and Agriculture Organization (FAO), “Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro”, Cap V. Versión 1.0 en CD ROM. Santiago, Chile.

PLASTER, E. 2000. La Ciencia del Suelo y su Manejo. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 405 pág.

QUILLATUPA, C. 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 para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 158 pág.

REA, J., M. TAPIA, A. MUJICA. 1979. Prácticas agronómicas In: Quinua y Kañiwua. Cultivos Andinos. (M.E. Tapia ed) Serie de libros y Materiales educativos N° 49. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, Colombia. Bogotá – Colombia. Pp 83-120

REPO - CARRASCO, R., ESPINOZA, C. Y JACOBSEN, S.E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. New York. Vol. 19. N° 1 y 2. Pp. 179 - 189.

RESH, H. 1987. Cultivos Hidropónicos. Segunda edición. Editorial ICTHUS, Madrid, España. 296 pág.

RIVERO, L. (1985). Efecto del distanciamiento entre surcos y entre plantas sobre el rendimiento y otras características de dos ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. UNALM. Lima, Perú.

SALGADO G., PALMA-LÓPEZ, D., NÚÑEZ R., LAGUNES-ESPINOZA, L., DEBERNARDI DE LA V., H. Y MENDOZA, R. 2006. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 211 pág.

SALGADO, G. S. Y NÚÑEZ, E. R. 2010. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados y Mundi Prensa. México. 146 pág.

SALISBURY F.B. Y ROSS, W. 2000. Plant Physiology 1. International Thompson Editores Spain, Paraninfo S.A. Madrid. España. 304 pág.

SÁNCHEZ, M. 2015. Identificación preliminar de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) con mayor eficiencia en el uso de nitrógeno. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 120 pág.

SCHULTE AU PM ERLEY, KAUL, H., AUFHAMMER, W. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. Europ. J. Agronomy 22. Pp. 95-100

SESAN. 2013. Investigación sobre el cultivo de la quinua o quinoa. Unidad de Gestión de Riesgo en SAN y Cambio Climático. Guatemala. 31 pág.

SISTEMA INTEGRADO DE ESTADÍSTICAS AGRARIA (SIEA). 2015. Estadística Agraria mensual. Original en Internet:

[http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2015/bemsa\\_enero15-final.pdf](http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2015/bemsa_enero15-final.pdf)

- SUQUILANDA, M. 2007. Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico). Pp. 191-216,203 y 207
- SUQUILANDA, M. 2011. Producción orgánica de cultivos andinos. Publiasesores. Quito, Ecuador.
- TAPIA, M., GANDARILLAS, H., ALANDIA, S., CARDOZO, A. MUJICA, A. 1979. Quinoa y Kañiwa. Cultivos andinos. (M.E. Tapia ed.). Archivo 49767. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogotá – Colombia. Pp. 87, 88, 95 y 102
- TAPIA, M., MUJICA, A. y CAHUANA, A.1980. Origen, distribución geográfica y sistemas de producción de la quinoa. I Reunión sobre genética y fitomejoramiento de la quinoa. Proyecto de Investigación de los Sistemas de Cultivos Andinos. Publicación Nro. 1. Puno. Perú.
- TAPIA, M. 1982. El medio, los cultivos y los sistemas agrícolas de los andes del sur del Perú. Proyecto PISCA IICA/CIID.79 pág.
- TAPIA, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.
- TAPIA, M. 1997. Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- TAPIA, M. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2da edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- TAPIA, T. 2003. Influencia de dos tecnologías de cultivo en la producción de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Costa. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en la especialidad de Producción Agrícola. UNALM Lima- Perú.
- TIMANÁ, G. 1992. Dosis y momento de aplicación de Cycocel y su efecto frente a niveles crecientes de nitrógeno en el rendimiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.
- TISDALE, S. 1991. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. México, D.F. 760 pág.
- VILLACORTA, L. Y TALAVERA, V. 1976. Anatomía del grano de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Anales científicos. UNALM. Lima, Perú. Vol. XIV. Pp. 39-45.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO N°01: Área del experimento



Fuente: Google Earth Maps (2017)

### ANEXO N°02: Fotografía de la prueba de germinación, previa a la siembra.





**ANEXO N°03: Fotografía del cultivo luego del desahije y primer aporque.**



**ANEXO N°04: Fotografía tomando altura de planta.**





**ANEXO N°05: Fotografía del enmallado del campo, para evitar daño de aves.**



**ANEXO N°06: Fotografía de una panoja.**



## ANEXO N°07: Análisis estadístico para el rendimiento de grano (kg/ha)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	2,735	2,569	2,906	3,634	2,961	100.0
NPK	3,447	3,018	3,232	4,740	3,609	121.9
NPK+Ca	4,017	4,082	4,001	6,448	4,637	156.6
NPK+Ca+Micro	3,428	3,252	3,562	5,569	3,953	133.5

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	2,631	2,965	3,896	3,063	3,139	100.0
NPK	3,491	3,528	3,906	3,921	3,712	118.3
NPK+Ca	3,992	3,596	4,154	3,881	3,906	124.4
NPK+Ca+Micro	3,138	3,485	3,946	4,047	3,654	116.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	2,915	2,930	3,226	2,741	2,953	100.0
NPK	3,582	3,665	3,624	3,392	3,566	120.7
NPK+Ca	3,673	3,761	3,941	4,960	4,084	138.3
NPK+Ca+Micro	2,995	3,557	3,616	3,830	3,500	118.5

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	2,961	3,139	2,953	3,018
NPK	3,609	3,712	3,566	3,629
NPK+Ca	4,637	3,906	4,084	4,209
NPK+Ca+Micro	3,953	3,654	3,500	3,702
<b>Promedio</b>	<b>3,790</b>	<b>3,602</b>	<b>3,526</b>	<b>3,639</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	5574948.77	3	1858316.26	2.15	0.1954	n. s.
DENSIDAD (D)	592007.99	2	296003.99	0.34	0.7232	n. s.
ERROR A	5190272.14	6	865045.36	7.94	0.0001	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	8580330.26	3	2860110.09	26.25	<0.0001	**
NN*DD	1128647.22	6	188107.87	1.73	0.1531	n. s.
ERROR B	2941714.9	27	108952.4			
TOTAL	24007921.3	47				

Coef. Var. : 9.1 % Media: 3,639 kg/ha R<sup>2</sup>: 0.88



## ANEXO N°08: Análisis estadístico para los componentes de rendimiento

### 1. Rendimiento de grano por panoja (g)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	14.9	14.0	15.8	19.7	16.1	100.0
NPK	18.7	16.4	17.7	25.7	19.6	122.1
NPK+Ca	21.8	22.2	21.7	35.0	25.2	156.6
NPK+Ca+Micro	18.6	17.8	19.3	30.2	21.5	133.7

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	18.9	21.3	28.0	22.0	22.6	100.0
NPK	25.1	25.7	28.1	28.2	26.8	118.6
NPK+Ca	28.7	25.9	30.2	27.9	28.2	124.8
NPK+Ca+Micro	22.6	25.1	28.4	29.1	26.3	116.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	31.1	31.2	34.4	29.7	31.6	100.0
NPK	38.2	39.1	38.6	36.2	38.0	120.3
NPK+Ca	39.1	40.1	42.0	52.9	43.5	137.8
NPK+Ca+Micro	31.9	37.9	38.5	40.8	37.3	118.1

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	16.1	22.6	31.6	23.4
NPK	19.6	26.8	38.0	28.1
NPK+Ca	25.2	28.2	43.5	32.3
NPK+Ca+Micro	21.5	26.3	37.3	28.4
<b>Promedio</b>	<b>20.6</b>	<b>26.0</b>	<b>37.6</b>	<b>28.1</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	236.93	3	78.98	3.32	0.0982	n.s.
DENSIDAD (D)	2418.63	2	1209.32	50.88	0.0002	**
ERROR A	142.61	6	23.77	3.29	0.0147	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	474.93	3	158.31	21.89	<0.0001	**
NN*DD	51.8	6	8.63	1.19	0.3394	n.s.
ERROR B	195.25	27	7.23			
TOTAL	3520.16	47				

Coef. Var. : 9.6 % Media: 28.1 g R<sup>2</sup>: 0.94

## 2. Peso de mil granos (g)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.28	1.47	1.96	2.05	1.69	100.0
NPK	2.25	2.24	2.16	1.95	2.15	127.3
NPK+Ca	2.14	2.35	2.37	2.24	2.27	134.6
NPK+Ca+Micro	2.14	2.13	2.33	2.21	2.20	130.3

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.47	1.98	2.18	2.11	1.93	100.0
NPK	2.08	2.07	2.16	2.20	2.13	110.0
NPK+Ca	2.18	2.20	2.09	2.19	2.17	112.0
NPK+Ca+Micro	2.22	2.02	2.14	2.22	2.15	111.3

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.30	1.38	2.09	2.17	1.73	100.0
NPK	2.11	2.07	2.16	2.08	2.10	121.4
NPK+Ca	2.13	2.20	2.02	2.24	2.15	124.1
NPK+Ca+Micro	2.09	2.14	2.14	2.09	2.12	122.1

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	1.69	1.93	1.73	1.79
NPK	2.15	2.13	2.10	2.13
NPK+Ca	2.27	2.17	2.15	2.20
NPK+Ca+Micro	2.20	2.15	2.12	2.16
<b>Promedio</b>	<b>2.08</b>	<b>2.09</b>	<b>2.03</b>	<b>2.07</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	236.93	3	78.98	3.32	0.0982	n.s.
DENSIDAD (D)	2418.63	2	1209.32	50.88	0.0002	**
ERROR A	142.61	6	23.77	3.29	0.0147	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	474.93	3	158.31	21.89	<0.0001	**
NN*DD	51.8	6	8.63	1.19	0.3394	n.s.
ERROR B	195.25	27	7.23			
TOTAL	3520.16	47				

Coef. Var. : 10.1 % Media: 2.07 g R<sup>2</sup>: 0.61

## ANEXO N°09: Análisis estadístico para las variables de crecimiento

### 1. Altura de planta (cm)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	154.3	155.5	141.1	138.7	147.4	100.0
NPK	158.2	154.0	156.4	162.6	157.8	107.1
NPK+Ca	162.7	162.7	158.5	163.4	161.8	109.8
NPK+Ca+Micro	160.1	152.0	151.5	161.1	156.2	106.0

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	154.9	160.8	153.0	154.2	155.7	100.0
NPK	163.4	158.0	163.0	156.6	160.3	102.9
NPK+Ca	162.8	159.4	166.9	161.5	162.7	104.4
NPK+Ca+Micro	169.0	152.5	160.4	158.0	160.0	102.7

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	161.1	154.5	159.6	149.9	156.3	100.0
NPK	165.9	163.1	164.0	153.1	161.5	103.4
NPK+Ca	170.2	168.5	168.5	161.3	167.1	106.9
NPK+Ca+Micro	156.6	165.4	154.5	162.6	159.8	102.2

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	147.4	155.7	156.3	153.1
NPK	157.8	160.3	161.5	159.9
NPK+Ca	161.8	162.7	167.1	163.9
NPK+Ca+Micro	156.2	160.0	159.8	158.6
<b>Promedio</b>	<b>155.8</b>	<b>159.7</b>	<b>161.2</b>	<b>158.9</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	142.03	3	47.34	2	0.2153	n.s.
DENSIDAD (D)	245.54	2	122.77	5.19	0.0491	*
ERROR A	141.92	6	23.65	1.02	0.4307	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	706.86	3	235.62	10.21	0.0001	**
NN*DD	82.61	6	13.77	0.6	0.7304	n.s.
ERROR B	623.25	27	23.08			
TOTAL	1942.21	47				

Coef. Var. : 3.0 % Media: 158.9 cm R<sup>2</sup>: 0.68

## 2. Diámetro de tallo (cm)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.12	1.32	0.90	0.98	1.08	100.0
NPK	1.22	1.37	1.00	1.36	1.24	114.6
NPK+Ca	1.32	1.90	1.10	1.68	1.50	138.9
NPK+Ca+Micro	1.27	1.27	1.02	1.39	1.24	114.6

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.14	1.00	1.01	1.00	1.04	100.0
NPK	1.28	1.26	1.25	1.24	1.26	121.2
NPK+Ca	1.55	1.32	1.37	1.39	1.41	135.7
NPK+Ca+Micro	1.17	1.23	1.00	1.08	1.12	108.0

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.11	1.00	1.26	0.93	1.08	100.0
NPK	1.35	1.20	1.29	1.30	1.29	119.5
NPK+Ca	1.42	1.52	1.30	1.41	1.41	131.4
NPK+Ca+Micro	1.37	1.35	1.20	1.20	1.28	119.1

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	1.08	1.04	1.08	1.06
NPK	1.24	1.26	1.29	1.26
NPK+Ca	1.50	1.41	1.41	1.44
NPK+Ca+Micro	1.24	1.12	1.28	1.21
<b>Promedio</b>	<b>1.26</b>	<b>1.21</b>	<b>1.26</b>	<b>1.24</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	0.19	3	0.06	1.17	0.3959	n.s.
DENSIDAD (D)	0.04	2	0.02	0.32	0.7354	n.s.
ERROR A	0.33	6	0.06	4.6	0.0024	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	0.86	3	0.29	24.04	<0.0001	**
NN*DD	0.05	6	0.01	0.69	0.6572	n.s.
ERROR B	0.32	27	0.01			
TOTAL	1.8	47				

Coef. Var. : 8.8 % Media: 1.24 cm R<sup>2</sup>: 0.82

### 3. Longitud de panoja (cm)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	24.5	36.4	35.0	31.0	31.7	100.0
NPK	37.4	49.0	37.7	39.0	40.8	128.5
NPK+Ca	48.5	57.1	43.0	40.8	47.4	149.3
NPK+Ca+Micro	34.5	41.2	41.9	35.5	38.3	120.7

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	33.5	42.5	38.3	40.1	38.6	100.0
NPK	50.0	54.0	41.9	42.3	47.1	121.9
NPK+Ca	52.0	55.9	44.2	44.9	49.3	127.6
NPK+Ca+Micro	43.5	44.4	41.4	41.6	42.7	110.7

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	43.3	48.4	40.0	40.4	43.0	100.0
NPK	48.5	48.6	49.8	41.8	47.2	109.6
NPK+Ca	50.0	50.0	51.5	45.0	49.1	114.2
NPK+Ca+Micro	49.5	45.3	44.7	41.5	45.3	105.2

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	31.7	38.6	43.0	37.8
NPK	40.8	47.1	47.2	45.0
NPK+Ca	47.4	49.3	49.1	48.6
NPK+Ca+Micro	38.3	42.7	45.3	42.1
<b>Promedio</b>	<b>39.5</b>	<b>44.4</b>	<b>46.1</b>	<b>43.4</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	352.11	3	117.37	5.58	0.036	n.s.
DENSIDAD (D)	375.98	2	187.99	8.94	0.0159	n.s.
ERROR A	126.22	6	21.04	1.93	0.1117	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	751.35	3	250.45	23.01	<0.0001	**
NN*DD	99.27	6	16.55	1.52	0.2095	n.s.
ERROR B	293.91	27	10.89			
TOTAL	1998.84	47				

Coef. Var. : 7.6 % Media: 43.4 cm R<sup>2</sup>: 0.82

#### 4. Diámetro de panoja (cm)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	8.7	12.6	6.3	8.4	9.0	100.0
NPK	9.1	23.5	11.3	11.2	13.8	153.5
NPK+Ca	11.7	27.0	15.5	13.3	16.9	187.9
NPK+Ca+Micro	9.4	15.6	10.9	11.5	11.9	132.0

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	9.1	7.9	9.4	11.0	9.4	100.0
NPK	13.2	13.0	11.8	11.3	12.3	131.8
NPK+Ca	15.1	15.5	14.3	12.9	14.5	154.5
NPK+Ca+Micro	11.2	11.0	11.2	11.6	11.3	120.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	12.4	10.6	10.3	8.5	10.4	100.0
NPK	13.5	13.7	13.0	14.1	13.6	129.9
NPK+Ca	15.8	17.0	15.5	18.0	16.6	158.6
NPK+Ca+Micro	13.4	15.3	14.2	10.9	13.5	128.9

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	9.0	9.4	10.4	9.6
NPK	13.8	12.3	13.6	13.2
NPK+Ca	16.9	14.5	16.6	16.0
NPK+Ca+Micro	11.9	11.3	13.5	12.2
<b>Promedio</b>	<b>12.9</b>	<b>11.8</b>	<b>13.5</b>	<b>12.7</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	98.06	3	32.69	1.25	0.3721	n.s.
DENSIDAD (D)	22.6	2	11.3	0.43	0.668	n.s.
ERROR A	156.95	6	26.16	7.53	0.0001	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	249.98	3	83.33	23.97	<0.0001	**
NN*DD	11.34	6	1.89	0.54	0.7703	n.s.
ERROR B	93.84	27	3.48			
TOTAL	632.77	47				

Coef. Var. : 14.6 % Media: 12.7 cm R<sup>2</sup>: 0.85

## 5. Área foliar (cm<sup>2</sup>/planta)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1,685	942	779	714	1,030	100.0
NPK	2,152	2,974	1,283	3,007	2,354	228.5
NPK+Ca	1,916	3,422	2,061	2,914	2,578	250.3
NPK+Ca+Micro	1,219	2,846	2,751	2,034	2,212	214.8

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	936	1,168	733	909	936	100.0
NPK	2,223	2,978	1,245	1,879	2,081	222.3
NPK+Ca	3,056	2,580	5,421	2,953	3,502	374.0
NPK+Ca+Micro	2,424	1,906	2,308	1,094	1,933	206.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	747	711	745	1,051	813	100.0
NPK	1,402	1,708	2,625	1,432	1,792	220.3
NPK+Ca	3,434	2,645	1,807	2,848	2,684	329.9
NPK+Ca+Micro	1,542	2,381	1,363	1,448	1,683	206.9

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	1,030	936	813	927
NPK	2,354	2,081	1,792	2,076
NPK+Ca	2,578	3,502	2,684	2,921
NPK+Ca+Micro	2,212	1,933	1,683	1,943
<b>Promedio</b>	<b>2,044</b>	<b>2,113</b>	<b>1,743</b>	<b>1,967</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	816305.64	3	272101.88	0.73	0.5683	n.s.
DENSIDAD (D)	1237935.98	2	618967.99	1.67	0.2648	n.s.
ERROR A	2221641.73	6	370273.62	0.73	0.6285	
NIVEL NUTRICIONAL	24070190.03	3	8023396.68	15.85	<0.0001	**
NN*DD	2095160.52	6	349193.42	0.69	0.6596	n.s.
ERROR B	13667528.31	27	506204.75			
TOTAL	44108762.21	47				

Coef. Var. : 36.2 % Media: 1,967 cm<sup>2</sup>/planta R<sup>2</sup>: 0.69

## 6. Materia seca total y sus componentes

### 6.1 Materia seca de hojas (g/planta)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	2.7	3.0	2.2	6.4	3.6	100.0
NPK	2.7	11.0	2.8	12.9	7.4	206.2
NPK+Ca	3.8	21.7	4.2	22.1	12.9	362.3
NPK+Ca+Micro	6.9	5.3	5.3	11.9	7.3	205.7

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	2.8	2.8	2.6	2.9	2.8	100.0
NPK	6.5	8.4	8.0	7.3	7.5	268.3
NPK+Ca	9.1	9.3	9.8	8.8	9.2	329.4
NPK+Ca+Micro	6.2	4.6	6.7	5.9	5.8	208.5

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	3.3	2.3	2.4	4.0	3.0	100.0
NPK	5.6	5.5	6.4	7.4	6.2	209.2
NPK+Ca	6.3	6.9	6.8	8.2	7.0	235.1
NPK+Ca+Micro	5.3	6.7	4.6	5.7	5.6	186.5

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	3.6	2.8	3.0	3.1
NPK	7.4	7.5	6.2	7.0
NPK+Ca	12.9	9.2	7.0	9.7
NPK+Ca+Micro	7.3	5.8	5.6	6.2
<b>Promedio</b>	<b>7.8</b>	<b>6.3</b>	<b>5.4</b>	<b>6.5</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	106.76	3	35.59	1.25	0.3728	n. s.
DENSIDAD (D)	45.06	2	22.53	0.79	0.4962	n. s.
ERROR A	171.24	6	28.54	4.22	0.004	
NIVEL NUTRICIONAL	266.3	3	88.77	13.13	<0.0001	**
NN*DD	39	6	6.5	0.96	0.4694	n. s.
ERROR B	182.52	27	6.76			
TOTAL	810.88	47				

Coef. Var. : 39.8 % Media: 6.5 g/planta R<sup>2</sup>: 0.77



## 6.2 Materia seca de tallo (g/planta)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	12.5	19.2	11.8	14.2	14.4	100.0
NPK	21.8	31.3	21.8	34.1	27.3	189.1
NPK+Ca	25.1	40.2	19.7	60.8	36.4	252.8
NPK+Ca+Micro	27.2	30.2	25.3	31.8	28.6	198.4

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	13.3	13.1	19.7	12.7	14.7	100.0
NPK	29.7	23.0	27.7	24.7	26.3	178.9
NPK+Ca	38.8	39.6	32.8	26.4	34.4	234.1
NPK+Ca+Micro	30.4	30.2	34.4	28.8	30.9	210.7

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	15.7	14.9	20.4	14.2	16.3	100.0
NPK	30.3	23.1	24.4	22.1	25.0	153.0
NPK+Ca	33.1	43.3	29.1	45.1	37.7	230.7
NPK+Ca+Micro	25.6	35.8	27.3	29.4	29.5	180.6

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	14.4	14.7	16.3	15.1
NPK	27.3	26.3	25.0	26.2
NPK+Ca	36.4	34.4	37.7	36.2
NPK+Ca+Micro	28.6	30.9	29.5	29.7
<b>Promedio</b>	26.7	26.6	27.1	26.8

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	173.66	3	57.89	0.6	0.638	n. s.
DENSIDAD (D)	2.66	2	1.33	0.01	0.9863	n. s.
ERROR A	578.46	6	96.41	2.76	0.0317	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	2785.84	3	928.61	26.61	<0.0001	**
NN*DD	49.56	6	8.26	0.24	0.9606	n. s.
ERROR B	942.23	27	34.9			
TOTAL	4532.42	47				

Coef. Var. : 22.1 % Media: 26.8 g/planta  $R^2$ : 0.79

### 6.3 Materia seca de panoja (g/planta)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	23.8	28.0	25.0	23.2	25.0	100.0
NPK	35.0	52.1	37.6	41.3	41.5	166.0
NPK+Ca	50.6	69.6	40.0	68.7	57.2	228.9
NPK+Ca+Micro	35.5	46.3	33.6	45.7	40.3	161.1

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	27.3	23.3	31.4	24.7	26.7	106.6
NPK	32.5	40.6	37.4	37.2	36.9	147.7
NPK+Ca	56.4	63.2	55.8	58.2	58.4	233.6
NPK+Ca+Micro	36.7	47.0	41.6	38.3	40.9	163.6

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	20.4	34.5	35.7	26.3	29.2	117.0
NPK	26.7	38.7	41.6	38.8	36.4	145.8
NPK+Ca	46.5	55.2	55.0	58.6	53.8	215.3
NPK+Ca+Micro	37.3	45.1	41.3	44.8	42.1	168.6

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	25.0	26.7	29.2	27.0
NPK	41.5	36.9	36.4	38.3
NPK+Ca	57.2	58.4	53.8	56.5
NPK+Ca+Micro	40.3	40.9	42.1	41.1
<b>Promedio</b>	<b>41.0</b>	<b>40.7</b>	<b>40.4</b>	<b>40.7</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	587.42	3	195.81	3.02	0.1158	n. s.
DENSIDAD (D)	2.82	2	1.41	0.02	0.9786	n. s.
ERROR A	389.32	6	64.89	3.26	0.0153	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	5323.99	3	1774.66	89.13	<0.0001	**
NN*DD	148.92	6	24.82	1.25	0.3144	n. s.
ERROR B	537.58	27	19.91			
TOTAL	6990.04	47				

Coef. Var. : 11.0 % Media: 40.7 g/planta  $R^2$ : 0.92

## 6.4 Materia seca total (g/planta)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	39.0	50.2	39.0	43.8	43.0	100.0
NPK	59.5	94.5	62.2	88.3	76.1	177.1
NPK+Ca	79.5	131.4	63.9	151.5	106.6	248.0
NPK+Ca+Micro	69.5	81.9	64.2	89.3	76.2	177.3

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	43.4	39.2	53.6	40.3	44.1	100.0
NPK	68.6	72.0	73.1	69.1	70.7	160.2
NPK+Ca	104.2	112.1	98.4	93.3	102.0	231.1
NPK+Ca+Micro	73.3	81.7	82.7	72.9	77.7	176.0

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	39.4	51.7	58.5	44.5	48.5	100.0
NPK	62.6	67.3	72.4	68.4	67.7	139.4
NPK+Ca	85.9	105.4	90.8	111.9	98.5	202.9
NPK+Ca+Micro	68.2	87.5	73.2	79.9	77.2	159.0

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	43.0	44.1	48.5	45.2
NPK	76.1	70.7	67.7	71.5
NPK+Ca	106.6	102.0	98.5	102.4
NPK+Ca+Micro	76.2	77.7	77.2	77.0
<b>Promedio</b>	<b>75.5</b>	<b>73.6</b>	<b>73.0</b>	<b>74.0</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	1992.67	3	664.22	1.45	0.318	n. s.
DENSIDAD (D)	53.9	2	26.95	0.06	0.9433	n. s.
ERROR A	2741.72	6	456.95	3.82	0.0069	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	19775.91	3	6591.97	55.17	<0.0001	**
NN*DD	298.3	6	49.72	0.42	0.8618	n. s.
ERROR B	3226.26	27	119.49			
TOTAL	28088.77	47				

Coef. Var. : 14.8 % Media: 74.0 g/planta R<sup>2</sup>: 0.89

## ANEXO N°10: Análisis estadístico para la calidad de grano

### 1. Granulometría

#### 1.1 Grano 2 mm (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	0.4	0.7	0.4	0.3	0.4	100.0
NPK	0.4	1.0	0.6	0.5	0.6	148.5
NPK+Ca	1.0	0.4	0.5	0.5	0.6	140.0
NPK+Ca+Micro	0.2	0.9	0.7	0.8	0.6	152.6

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	100.0
NPK	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	133.2
NPK+Ca	0.8	0.3	0.6	1.2	0.7	283.4
NPK+Ca+Micro	0.8	0.7	0.1	0.3	0.5	196.5

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	0.1	0.1	0.5	0.2	0.2	100.0
NPK	0.5	0.2	0.2	0.6	0.4	183.1
NPK+Ca	0.6	1.6	1.0	0.8	1.0	492.5
NPK+Ca+Micro	1.2	0.3	0.3	0.4	0.5	268.8

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	0.4	0.2	0.2	0.3
NPK	0.6	0.3	0.4	0.4
NPK+Ca	0.6	0.7	1.0	0.8
NPK+Ca+Micro	0.6	0.5	0.5	0.6
<b>Promedio</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	0.1	3	0.03	0.98	0.4625	n. s.
DENSIDAD (D)	0.14	2	0.07	2.03	0.2119	n. s.
ERROR A	0.21	6	0.03	0.34	0.9114	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	1.42	3	0.47	4.59	0.0101	n. s.
NN*DD	0.57	6	0.09	0.92	0.4958	n. s.
ERROR B	2.78	27	0.1			
TOTAL	5.21	47				

Coef. Var. : 62.3 % Media: 0.5 % R<sup>2</sup>: 0.47

## 1.2 Grano 1.4 mm (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	85.7	85.5	80.7	80.6	83.1	100.0
NPK	86.5	84.3	86.9	81.6	84.8	102.1
NPK+Ca	83.2	83.2	89.0	85.6	85.3	102.6
NPK+Ca+Micro	84.0	85.2	87.9	86.0	85.8	103.2

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	84.0	89.1	83.0	77.5	83.4	100.0
NPK	79.9	89.1	85.1	82.9	84.3	101.0
NPK+Ca	81.2	88.6	87.7	83.8	85.3	102.3
NPK+Ca+Micro	84.2	89.4	85.0	82.4	85.3	102.2

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	80.1	84.6	84.7	81.9	82.8	100.0
NPK	82.0	89.0	86.2	82.5	84.9	102.5
NPK+Ca	84.6	90.3	84.5	82.1	85.4	103.1
NPK+Ca+Micro	82.7	85.4	84.2	83.9	84.0	101.4

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	83.1	83.4	82.8	83.1
NPK	84.8	84.3	84.9	84.7
NPK+Ca	85.3	85.3	85.4	85.3
NPK+Ca+Micro	85.8	85.3	84.0	85.0
<b>Promedio</b>	<b>84.7</b>	<b>84.6</b>	<b>84.3</b>	<b>84.5</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	149.61	3	49.87	4.53	0.0551	n. s.
DENSIDAD (D)	1.67	2	0.84	0.08	0.9278	n. s.
ERROR A	66.06	6	11.01	2.48	0.0486	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	34.52	3	11.51	2.59	0.0735	n. s.
NN*DD	6.46	6	1.08	0.24	0.9582	n. s.
ERROR B	119.96	27	4.44			
TOTAL	378.28	47				

Coef. Var. : 2.5 % Media: 84.5 % R<sup>2</sup>: 0.68

### 1.3 Grano 1 mm (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	14.0	13.9	19.0	19.1	16.5	123.0
NPK	13.2	14.7	12.5	17.8	14.6	108.7
NPK+Ca	15.8	18.3	10.5	13.6	14.5	108.4
NPK+Ca+Micro	15.9	13.8	11.4	12.5	13.4	100.0

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	15.7	10.4	16.9	22.3	16.3	118.9
NPK	19.9	10.6	14.5	16.7	15.4	112.2
NPK+Ca	18.1	11.1	10.8	15.0	13.7	100.0
NPK+Ca+Micro	15.0	9.9	14.8	17.3	14.3	103.8

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	19.9	15.2	14.8	17.9	17.0	123.6
NPK	17.6	10.8	13.5	17.0	14.7	107.3
NPK+Ca	14.8	8.1	14.9	17.1	13.7	100.0
NPK+Ca+Micro	16.1	14.4	15.5	15.7	15.4	112.3

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	16.5	16.3	17.0	16.6
NPK	14.6	15.4	14.7	14.9
NPK+Ca	14.5	13.7	13.7	14.0
NPK+Ca+Micro	13.4	14.3	15.4	14.4
<b>Promedio</b>	14.7	14.9	15.2	15.0

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	139.3	3	46.43	3.9	0.0734	n. s.
DENSIDAD (D)	1.89	2	0.94	0.08	0.9246	n. s.
ERROR A	71.36	6	11.89	2.11	0.0852	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	47.55	3	15.85	2.81	0.0584	n. s.
NN*DD	10.63	6	1.77	0.31	0.9241	n. s.
ERROR B	152.29	27	5.64			
TOTAL	423.02	47				

Coef. Var. : 15.9 % Media: 15.0 % R<sup>2</sup>: 0.64

## 2. Porcentaje de proteína (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	14.8	16.1	14.2	13.8	14.7	100.0
NPK	15.4	16.3	15.9	14.7	15.6	105.9
NPK+Ca	15.6	16.6	17.0	15.4	16.2	113.0
NPK+Ca+Micro	17.5	16.5	17.1	15.8	16.6	110.3

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	17.2	13.1	14.1	14.0	14.6	100.0
NPK	15.3	14.5	14.4	15.1	14.8	101.4
NPK+Ca	17.9	15.3	14.7	15.3	15.8	108.0
NPK+Ca+Micro	16.0	15.6	15.4	17.1	16.0	109.7

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	13.9	13.3	14.2	14.7	14.0	100.0
NPK	16.1	15.6	15.8	15.4	15.7	112.0
NPK+Ca	19.6	16.3	15.9	16.1	17.0	121.2
NPK+Ca+Micro	18.3	16.5	16.3	17.1	17.0	121.5

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	14.7	14.6	14.0	14.4
NPK	15.6	14.8	15.7	15.4
NPK+Ca	16.6	15.8	17.0	16.5
NPK+Ca+Micro	16.2	16.0	17.0	16.4
<b>Promedio</b>	15.8	15.3	15.9	15.7

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	9.86	3	3.29	1.73	0.2593	n. s.
DENSIDAD (D)	3.64	2	1.82	0.96	0.4352	n. s.
ERROR A	11.38	6	1.9	2.84	0.0282	
NIVEL NUTRICIONAL	34.08	3	11.36	17.01	0.0001	**
NN*DD	4.72	6	0.79	1.18	0.3474	n. s.
ERROR B	18.03	27	0.67			
TOTAL	81.7	47				

Coef. Var. : 5.2 % Media: 15.7 % R<sup>2</sup>: 0.78

### 3. Porcentaje de saponina (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	100.0
NPK	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	106.0
NPK+Ca	1.6	1.4	1.4	1.5	1.5	113.1
NPK+Ca+Micro	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	105.1

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	100.0
NPK	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	109.2
NPK+Ca	1.5	1.7	1.4	1.5	1.5	119.6
NPK+Ca+Micro	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	103.3

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	100.0
NPK	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	110.7
NPK+Ca	1.7	1.6	1.8	1.6	1.7	131.2
NPK+Ca+Micro	1.5	1.4	1.6	1.4	1.5	116.2

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	1.3	1.3	1.3	1.3
NPK	1.4	1.4	1.4	1.4
NPK+Ca	1.5	1.5	1.7	1.6
NPK+Ca+Micro	1.4	1.3	1.5	1.4
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	0.02	3	0.01	0.72	0.5777	n. s.
DENSIDAD (D)	0.07	2	0.03	3.03	0.123	n. s.
ERROR A	0.06	6	0.01	5.02	0.0014	
NIVEL NUTRICIONAL	0.46	3	0.15	71.66	<0.0001	**
NN*DD	0.08	6	0.01	6.02	0.0004	**
ERROR B	0.06	27	0.0021			
TOTAL	0.75	47				

Coef. Var. : 3.3 % Media: 1.4 % R<sup>2</sup>: 0.92



### Análisis de efectos simples para el porcentaje de saponinas

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fe	F tab ( $\alpha=0.01$ )	F tab ( $\alpha=0.05$ )	Sig.
DD en N0	2	0.0016	0.00081	0.26	5.25	3.26	n.s.
DD en N1	2	0.0025	0.0013	0.51	5.25	3.26	n.s.
DD en N2	2	0.09	0.04	5.65	5.25	3.26	**
DD en N3	2	0.05	0.03	8.78	5.25	3.26	**
NN en D1	3	0.06	0.02	3.48	4.38	2.87	*
NN en D2	3	0.15	0.05	15	4.38	2.87	**
NN en D3	3	0.33	0.11	34.18	4.38	2.87	**
Error	36						

Densidad plantas/ha	Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
D1: 160,000	N0: Testigo	1.3	A	101.6
D2: 120,000	N0: Testigo	1.3	A	100.0
D3: 80,000	N0: Testigo	1.3	A	100.0

Densidad plantas/ha	Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
D3: 80,000	N1: NPK	1.4	A	102.2
D2: 120,000	N1: NPK	1.4	A	101.4
D1: 160,000	N1: NPK	1.4	A	100.0

Densidad plantas/ha	Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
D3: 80,000	N2: NPK + Ca	1.7	A	114.3
D2: 120,000	N2: NPK + Ca	1.5	B	104.8
D1: 160,000	N2: NPK + Ca	1.5	B	100.0

Densidad plantas/ha	Nivel nutricional	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
D3: 80,000	N3: NPK + Ca + Micro	1.5	A	100.0
D1: 160,000	N3: NPK + Ca + Micro	1.4	B	92.6
D2: 120,000	N3: NPK + Ca + Micro	1.3	B	89.9

Nivel nutricional	Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
N2: NPK + Ca	D1: 160,000	1.5	A	113.1
N1: NPK	D1: 160,000	1.4	AB	106.2
N3: NPK + Ca + Micro	D1: 160,000	1.4	AB	105.4
N0: Testigo	D1: 160,000	1.3	B	100.0

Nivel nutricional	Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
N2: NPK + Ca	D2: 120,000	1.5	A	120.3
N1: NPK	D2: 120,000	1.4	B	109.4
N3: NPK + Ca + Micro	D2: 120,000	1.3	BC	103.9
N0: Testigo	D2: 120,000	1.3	C	100.0

Nivel nutricional	Densidad plantas/ha	Medias	DUNCAN	$\Delta\%$
N2: NPK + Ca	D3: 80,000	1.7	A	131.3
N3: NPK + Ca + Micro	D3: 80,001	1.5	B	115.6
N1: NPK	D3: 80,002	1.4	B	110.2
N0: Testigo	D3: 80,003	1.3	C	100.0

#### 4. Porcentaje de humedad (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	10.7	11.0	11.1	11.1	11.0	100.0
NPK	11.0	11.3	11.1	11.0	11.1	101.1
NPK+Ca	11.3	11.2	11.0	11.0	11.1	101.4
NPK+Ca+Micro	11.1	11.3	11.0	11.1	11.1	101.4

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	11.4	10.8	11.1	11.0	11.1	100.0
NPK	11.4	11.0	11.3	11.0	11.2	100.9
NPK+Ca	11.1	11.3	11.4	11.2	11.3	101.6
NPK+Ca+Micro	11.1	11.2	11.0	11.4	11.2	100.9

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	$\Delta\%$
Testigo	10.9	11.0	11.2	11.0	11.0	100.0
NPK	11.0	11.3	11.1	11.2	11.2	101.1
NPK+Ca	11.4	11.0	11.1	11.3	11.2	101.6
NPK+Ca+Micro	11.3	11.0	11.2	11.3	11.2	101.6

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	11.0	11.1	11.0	11.0
NPK	11.1	11.2	11.2	11.1
NPK+Ca	11.1	11.3	11.2	11.2
NPK+Ca+Micro	11.1	11.2	11.2	11.2
<b>Promedio</b>	<b>11.1</b>	<b>11.2</b>	<b>11.1</b>	<b>11.1</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	0.004	3	0.0013	0.05	0.9856	n. s.
DENSIDAD (D)	0.07	2	0.03	1.14	0.3816	n. s.
ERROR A	0.17	6	0.03	0.95	0.4794	
NIVEL NUTRICIONAL	0.2	3	0.07	2.16	0.1166	n. s.
NN*DD	0.01	6	0.0017	0.06	0.9992	n. s.
ERROR B	0.82	27	0.03			
TOTAL	1.26	47				

Coef. Var. : 1.6 % Media: 11.1 %  $R^2$ : 0.35

## ANEXO N°11: Análisis estadístico para los parámetros agronómicos

### 1. Eficiencia de uso de agua - EUA (kg/m<sup>3</sup>)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	0.99	0.93	1.06	1.32	1.08	100.0
NPK	1.25	1.10	1.18	1.72	1.31	121.9
NPK+Ca	1.46	1.48	1.45	2.34	1.69	156.6
NPK+Ca+Micro	1.25	1.18	1.30	2.03	1.44	133.5

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	0.96	1.08	1.42	1.11	1.14	100.0
NPK	1.27	1.28	1.42	1.43	1.35	118.3
NPK+Ca	1.45	1.31	1.51	1.41	1.42	124.4
NPK+Ca+Micro	1.14	1.27	1.43	1.47	1.33	116.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	1.06	1.07	1.17	1.00	1.07	100.0
NPK	1.30	1.33	1.32	1.23	1.30	120.7
NPK+Ca	1.34	1.37	1.43	1.80	1.49	138.3
NPK+Ca+Micro	1.09	1.29	1.32	1.39	1.27	118.5

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	1.08	1.14	1.07	1.10
NPK	1.31	1.35	1.30	1.32
NPK+Ca	1.69	1.42	1.49	1.53
NPK+Ca+Micro	1.44	1.33	1.27	1.35
<b>Promedio</b>	<b>1.38</b>	<b>1.31</b>	<b>1.28</b>	<b>1.32</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	0.73	3	0.24	2.14	0.1968	n. s.
DENSIDAD (D)	0.08	2	0.04	0.34	0.7258	n. s.
ERROR A	0.69	6	0.11	7.98	0.0001	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	1.13	3	0.38	26.24	<0.0001	**
NN*DD	0.15	6	0.02	1.73	0.1512	n. s.
ERROR B	0.39	27	0.01			
TOTAL	3.16	47				

Coef. Var. : 9.0 % Media: 1.32 kg/m<sup>3</sup> R<sup>2</sup>: 0.88

## 2. Coeficiente de transpiración - CT (l/kg)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	397.2	308.1	396.9	353.3	363.86	221.7
NPK	259.9	163.8	248.6	175.2	211.89	129.1
NPK+Ca	194.5	117.7	242.3	102.1	164.14	100.0
NPK+Ca+Micro	222.5	189.0	241.1	173.2	206.43	125.8

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	475.2	525.9	384.5	511.8	474.37	233.5
NPK	300.5	286.5	282.0	298.4	291.85	143.7
NPK+Ca	197.9	184.0	209.6	221.0	203.13	100.0
NPK+Ca+Micro	281.4	252.4	249.4	282.8	266.49	131.2

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	784.7	598.2	528.7	695.1	651.66	205.1
NPK	494.3	459.8	427.4	452.7	458.53	144.3
NPK+Ca	360.1	293.6	340.7	276.6	317.76	100.0
NPK+Ca+Micro	453.4	353.4	422.9	387.5	404.31	127.2

### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	363.9	474.4	651.7	496.6
NPK	211.9	291.9	458.5	320.8
NPK+Ca	164.1	203.1	317.8	228.3
NPK+Ca+Micro	206.4	266.5	404.3	292.4
<b>Promedio</b>	<b>236.6</b>	<b>309.0</b>	<b>458.1</b>	<b>334.5</b>

### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	21188.01	3	7062.67	1.31	0.3543	n. s.
DENSIDAD (D)	408144.22	2	204072.11	37.92	0.0004	**
ERROR A	32290.65	6	5381.78	3.69	0.0083	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	474188.52	3	158062.84	108.51	<0.0001	**
NN*DD	20522.15	6	3420.36	2.35	0.0592	n. s.
ERROR B	39330.28	27	1456.68			
TOTAL	995663.84	47				

Coef. Var. : 11.4 % Media: 334.5 l/kg R<sup>2</sup>: 0.96

### 3. Índice de área foliar - IAF (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	269.6	150.7	124.6	114.2	164.79	100.0
NPK	344.2	475.8	205.2	481.1	376.59	228.5
NPK+Ca	306.5	547.6	329.8	466.2	412.53	250.3
NPK+Ca+Micro	195.0	455.3	440.1	325.5	353.99	214.8

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	112.3	140.1	88.0	109.1	112.37	100.0
NPK	266.7	357.4	149.4	225.5	249.74	222.3
NPK+Ca	366.7	309.6	650.6	354.3	420.28	374.0
NPK+Ca+Micro	290.9	228.7	276.9	131.3	231.93	206.4

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	59.7	56.9	59.6	84.1	65.1	100.0
NPK	112.2	136.7	210.0	114.6	143.4	220.3
NPK+Ca	274.7	211.6	144.6	227.9	214.7	329.9
NPK+Ca+Micro	123.3	190.5	109.0	115.8	134.7	206.9

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	164.8	112.4	65.1	114.1
NPK	376.6	249.7	143.4	256.6
NPK+Ca	412.5	420.3	214.7	349.2
NPK+Ca+Micro	354.0	231.9	134.7	240.2
<b>Promedio</b>	<b>327.0</b>	<b>253.6</b>	<b>139.4</b>	<b>240.0</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	16301.42	3	5433.81	0.69	0.5909	n. s.
DENSIDAD (D)	285721.1	2	142860.55	18.12	0.0029	**
ERROR A	47296.8	6	7882.8	0.98	0.4593	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	336609.33	3	112203.11	13.91	<0.0001	**
NN*DD	48456.22	6	8076.04	1	0.4446	n. s.
ERROR B	217723.58	27	8063.84			
TOTAL	952108.45	47				

Coef. Var. : 37.4 % Media: 240.0 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> R<sup>2</sup>: 0.77

#### 4. Índice de cosecha - IC (%)

D1: 160,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	38.1	27.8	40.5	45.1	37.9	149.3
NPK	31.4	17.3	28.4	29.2	26.6	104.9
NPK+Ca	27.4	16.9	34.0	23.1	25.4	100.0
NPK+Ca+Micro	26.8	21.7	30.1	33.9	28.1	110.9

D2: 120,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	43.6	54.4	52.2	54.7	51.2	184.2
NPK	36.6	35.6	38.4	40.8	37.9	136.1
NPK+Ca	27.6	23.1	30.7	29.9	27.8	100.0
NPK+Ca+Micro	30.8	30.7	34.3	39.9	33.9	122.0

D3: 80,000 plantas/ha

Nivel nutricional	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio	Δ%
Testigo	78.8	60.4	58.7	66.7	66.2	149.4
NPK	61.0	58.0	53.3	52.9	56.3	127.2
NPK+Ca	45.6	38.0	46.2	47.3	44.3	100.0
NPK+Ca+Micro	46.8	43.3	52.7	51.1	48.5	109.5

#### Cuadro de medias

Nivel nutricional	D1	D2	D3	Promedio
Testigo	37.9	51.2	66.2	51.7
NPK	26.6	37.9	56.3	40.3
NPK+Ca	25.4	27.8	44.3	32.5
NPK+Ca+Micro	28.1	33.9	48.5	36.8
<b>Promedio</b>	<b>29.5</b>	<b>37.7</b>	<b>53.8</b>	<b>40.3</b>

#### Análisis de varianza (ANVA)

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F	P	Sig.
BLOQUE	375.06	3	125.02	2.75	0.1345	n. s.
DENSIDAD (D)	4894.75	2	2447.38	53.92	0.0001	**
ERROR A	272.32	6	45.39	2.68	0.0356	
NIVEL NUTRICIONAL (N)	2450.54	3	816.85	48.31	<0.0001	**
NN*DD	232.2	6	38.7	2.29	0.0648	n. s.
ERROR B	456.56	27	16.91			
TOTAL	8681.44	47				

Coef. Var. : 10.2 % Media: 40.3 % R<sup>2</sup>: 0.95