

POR: GARCÍA PARRA, Miguel Ángel¹ / GARCÍA MOLANO, José Francisco² /
MELO ORTÍZ, Dora Inés³ / DEQUIZ OYOLA, Yuli Alexandra⁴

RESPUESTA AGRONÓMICA DE LA QUINUA

(Chenopodium quinoa Willd)
VARIEDAD DULCE DE SORACÁ A
LA FERTILIZACIÓN EN
VENTAQUEMADA-BOYACÁ

¹Ingeniero agropecuario
mangelgarcia@jdc.edu.co

²Doctor en Biología Vegetal
Líder grupo de Investigación en Abonos Orgánicos
Fermentados aof
Jfgm29@hotmail.com

³Candidata a Doctorato per il sistema agroalimentare
Produzioni vegetali sostenibili
Università del Sacro Cuore Italia
doraines.meloortiz@unicatt.it

⁴Magister en Fisiología Vegetal
ideaquiz@jdc.edu.co
Fundación Universitaria Juan de Castellanos

Recibido: 7 de junio de 2017

Aceptado para publicación: 10 de agosto de 2017

Tipo: Investigación

AGRONOMIC RESPONSE OF THE QUINOA (*Chenopodium quinoa* *Willd*) VARIEDAD DULCE FROM SORACÁ TO FERTILIZATION IN VENTAQUEMADA-BOYACÁ

RESUMEN

Cada vez, cobra mayor relevancia el desarrollo del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el altiplano Cundiboyacense, debido a su importante valor nutricional, gastronómico y productivo; además de su fácil adaptabilidad a las diferentes condiciones edáficas y climáticas, que le permiten ser una alternativa potencial en el sector agrícola. El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta agronómica de la quinua frente a la aplicación de fertilizantes orgánico-mineral, químico y mezcla químico + orgánico-mineral al momento de la siembra y a los 54 días después, en el municipio de Ventaquemada-Boyacá. Para esto, se realizó un estudio en Victoria Granja Agroecológica, donde se sembró semillas de quinua variedad dulce de Soracá, un diseño completamente al azar con tres tratamientos y un testigo absoluto. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y a la prueba de comparación de Tukey. Se presentaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas, donde el Tratamiento mezcla (químico + orgánico-mineral) mostró los mejores resultados para peso seco y fresco de panoja, peso seco de plantas y rendimiento de semillas en comparación al tratamiento testigo. Por lo tanto, el uso y aplicación de abonos orgánico-mineral se convierte en una importante opción para fertilizar, que favorece al rendimiento y la rentabilidad del cultivo de quinua bajo condiciones del altiplano Cundiboyacense.

PALABRAS CLAVE

cultivo, fenología, fertilizante, semilla.

ABSTRACT

The development of the quinoa cultivation has become more and more important (*Chenopodium quinoa Willd*) in the Cundiboyacense plateau, because of its important nutritional, gastronomic and productive value; as well as its easy adaptability to the edaphic and climatic conditions, that allows the quinoa to become a potential alternative in the agricultural sector. The aim of the research was to evaluate the agronomic response of the quinoa in the application of organic-mineral fertilizers, chemical and chemical mixture plus organic-mineral mixture at the time of planting and 54 days long after planting in the municipality of Ventaquemada – Boyacá. For this, a study was carried out in Victoria Granja Agroecológica, where was planted seeds of quinoa variedad dulce from Soracá; a completely random statistical design with three treatments and absolute control. The results were exposed to analysis of variance and the Tukey comparison test. There were significant differences in all the variables evaluated, where T3 revealed the best results for dry and fresh weight of panicle, dry weight of plants and seed yield in comparison to T1. Therefore, the use and application of organic-mineral manures, becomes in an important option for fertilizer, which favors the performance and rentability of quinoa crop under the Cundiboyacense plateau conditions.

KEY WORDS: crop, phenology, fertilizer and seed.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta herbácea anual de la familia Chenopodiaceae, originaria de la región andina de Suramérica. Anteriormente era considerada uno de los ingredientes principales en la dieta de la población prehispánica, hasta la época de la conquista cuando fue marginado al iniciar la importación de trigo y cebada (Fleming & Galwey, 1995). Tradicionalmente, la quinua era cultivada a 2° Latitud Norte (Colombia) hasta los 40° Latitud Sur (Chile), y desde el nivel del mar hasta los 4000 m.snm., principalmente en las regiones más altas de Perú y Bolivia (Jacobsen & Stolen, 1993). Esta planta se caracteriza por adaptarse a diversos factores abióticos adversos como sequía, salinidad, heladas y niveles bajos de materia orgánica (Gaviria & Torres, 2006), condiciones de temperatura que van de los 0°C

hasta 30°C según la variedad (Mujica, 1992). La combinación de condiciones de aridez, bajas temperaturas y salinidad en áreas tradicionales de cultivo, como los altiplanos de Bolivia, Perú, Chile y el Noroeste Argentino, demuestran su capacidad de producir granos de alto valor nutritivo en condiciones extremas (Bertero, 2001).

La expansión del cultivo en América del Sur se inició a partir de los década de los 70. En los últimos años, el interés ha aumentado debido a las características nutricionales y al potencial de adaptación a diversas condiciones ambientales. Por esta razón, se ha propagado en Norteamérica, Europa, Asia y África (Bazile *et al.*, 2013; Curti *et al.*, 2015). En este sentido, la ONU declaró el 2013 como el "año internacional de la quínoa", con el fin de generar iniciativas de investigación sobre temas de prácticas ancestrales, propagación, producción, poscosecha, agroindustriales y

comercialización como una alternativa para contrarrestar problemas económicos y de seguridad alimentaria en diferentes países del mundo (Bazile *et al.*, 2013).

En Colombia, el cultivo fue abundante en la época de la preconquista española, mientras que, en la actualidad, la quinua no cuenta con una magnitud significativa de área cultivada y volumen de producción, a diferencia de otros países andinos (Bernal *et al.*, 2015). Actualmente existen cultivos de quinua en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Cauca y Nariño, con acciones encaminadas a reimplantarse en la conformación de cadenas productivas (Montoya *et al.*, 2005); sin embargo, los rendimientos de la producción no superan los 1,5t Ha⁻¹ (Carvajal, 2015), generando baja competitividad en comparación a otros países como Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina donde se obtienen rendimientos de 3,4t Ha⁻¹ (INTA, 2015). Por esta





razón, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) en alianza con la Universidad Nacional de Colombia, han realizado estudios de pre-inversión para el cultivo en el departamento de Boyacá, con el fin de aumentar la producción como una alternativa de diversificación agrícola (Betancourt *et al.*, 2006).

Igualmente, en el departamento de Nariño se han desarrollado investigaciones frente a procesos de fertilización, variedades (Delgado *et al.*, 2009) y adaptabilidad (Orsag *et al.*, 2013), con el fin de generar cambios en los niveles productivos.

Por lo anterior, es necesario contar con planes de fertilización acordes a los análisis de suelos, ya que la presencia y disponibilidad adecuada de nutrientes genera respuestas positivas en el comportamiento agronómico, garantizando la rentabilidad del cultivo, debido a que cada uno de los elemen-

tos minerales suministrados desempeñan un papel fundamental en la planta (Nishikawa *et al.*, 2012), dentro de los que se encuentra el nitrógeno importante en la formación de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, y conforma la molécula de clorofila (Meléndez & Molina, 2002); además, el fósforo que es indispensable en actividades metabólicas y energéticas como crecimiento de raíces y formación de semilla, y finalmente el potasio que actúa como cofactor enzimático y regula la apertura y cierre de estomas (Hanke, 2009).

El valor nutricional del grano de quinua para la alimentación humana radica en la calidad y contenido de proteína con promedios cercanos al 18%, balance de aminoácidos, vitaminas, minerales, y en que sea libre de gluten (Merchancano, 2010). Por todas estas anteriores características, se perfila como uno de los principales alimentos empleados para contrarrestar

problemas de seguridad alimentaria en todo el mundo (Bojanic, 2011). Comercialmente, la quinua se puede encontrar como grano perlado, harina, productos de panadería, etc. (Dueñas, 2014). En el caso de la harina de quinua, además de utilizarse en la industria alimenticia, es también una alternativa en la producción de cosméticos, fármacos e hidrocarburos (Bernal *et al.*, 2015).

De acuerdo con lo anterior, la quinua refleja un importante potencial agronómico. Sin embargo, no se ha visto como una alternativa productiva (García, 2016), dado al desconocimiento del comportamiento fisiológico y fenológico en algunas regiones del país, lo que conlleva a evaluar la respuesta agronómica de la quinua a tres tipos de fertilización en el municipio de Ventaquemada-Boyacá.



MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en Victoria Finca Agroecológica, ubicada en la vereda Supatá del municipio de Ventaquemada, con temperatura promedio de 10°C, precipitación promedio anual de 882 mm, 1600 horas de sol anuales y una humedad relativa del 82% (IDEAM, 2011).

Las semillas propagadas fueron variedad dulce de Soracá, con un 100% de viabilidad en 36 horas. El cultivo se estableció en parcelas entre los meses de septiembre del 2015 y enero del 2016.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental estuvo conformada por 25m². Al interior de esta área se establecieron 7 surcos de 5m de longitud y 0,7m entre surcos con una densidad de siembra de 25 gramos por unidad experimental que corresponde a 10Kg de semilla por hectárea.

Las prácticas agronómicas fueron de acuerdo con el tipo de producción local y la fertilización se realizó según los resultados del análisis de suelos (N 0,26% , P 60.6 ppm y K 0.88 meq/100g suelo), diseñando los tratamientos de la siguiente manera: T0 el testigo, T1 con aplicación de 2Kg de fertilizante orgánico M&C al momento de la siembra, T2 1.5Kg de fertilizante químico de la fórmula NPK (15-15-15) al momento de deshierbe (45 días) y T3 1Kg fertilizante orgánico M&C al momento de la siembra y 0.75 Kg de fertilizante químico (15-15-15) al momento del deshierbe.

Las variables evaluadas fueron:

Altura de planta: se midió tomando 5 plantas al azar de cada unidad experimental durante todo

el ensayo cada 8 días a partir de la germinación, usando un flexómetro rígido desde la base del tallo hasta la base del pedúnculo de la última hoja.

Número de hojas: esta se evaluó realizando un conteo del número de hojas cada 8 días a partir de la etapa de ramificación, tomando 5 plantas al azar de cada unidad experimental durante toda la investigación hasta la etapa de llenado de fruto debido a la defoliación por senescencia.

Contenido de clorofila: esta variable se evaluó tomando 5 plantas de cada una de las unidades experimentales en las etapas de 6 hojas verdaderas, ramificación, antesis y llenado de fruto con el equipo SPAD-502Plus.

Longitud de panoja: se evaluó al momento de la colecta, tomando las panojas presentes en un metro cuadrado y midiéndolas con un flexómetro rígido desde la base de la panoja hasta la parte terminal de la misma, sumando todas las longitudes y dividiendo en el número de panojas para cada unidad experimental.

Peso seco, fresco y número de panojas: se evaluó al momento de la madurez de cosecha, donde se colectaron y se contaron todas las panojas presentes en un metro cuadrado para cada una de las unidades experimentales, para el peso fresco de las panojas se utilizó una balanza digital y, finalmente, se introdujeron en la mufla a 104°C por 24 horas para obtener el peso seco de las mismas.

Peso seco y fresco de las plantas: esta variable se evaluó colectando tres plantas al azar de cada una de las unidades experimentales en las etapas fenológicas de: 6 hojas verdaderas, ramificación, antesis y grano lechoso, donde se tomó el peso de cada planta para



obtener el peso en fresco y, posteriormente, se transportaban a la mufla a 104°C para obtener el peso seco de las plantas.

Rendimiento en cosecha: el rendimiento se obtuvo colectando las panojas presentes en un metro cuadrado, se dejaron al secado por 10 días, luego se realizó el apaleado, aventado y pesado.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el ensayo se tabularon en Microsoft Excel. Posteriormente se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas con el método de Bartlett y una prueba de normalidad con el método de Shapiro-Wilk. Luego, se realizó el análisis de varianzas ANOVA, y la prueba de comparación de promedio de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el programa R versión 3.3.0 mediante el paquete "agricolae".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

Los tratamientos presentaron diferencia significativa a lo largo del crecimiento vegetativo de la planta entre el T0 y los demás tratamientos, además se observó que el tratamiento T2 y T3 mostraron un crecimiento significativo entre los días 54 y 62, esto se pudo deber a que la aplicación del fertilizante de síntesis química al momento del aporque generó disponibilidad de nutrientes a nivel edáfico (ver figura 1).

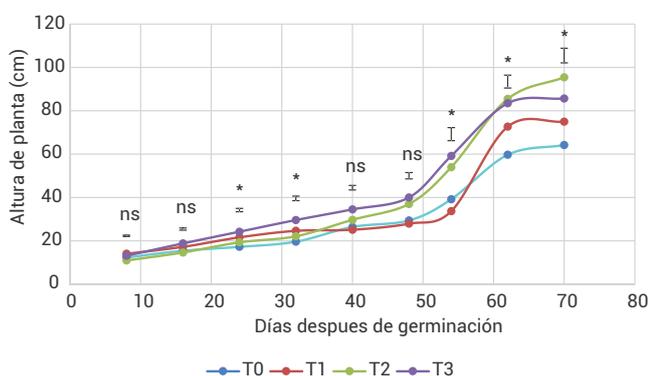


Figura 1. Altura de las plantas de quinua bajo la aplicación de diferentes protocolos de fertilización en el municipio de Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) ns: no significancia * : significancia, $n=16$.

Lo anterior concuerda con Berti *et al.* (1995), donde la aplicación de altas dosis de nitrógeno en plantas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) generó mayor

crecimiento longitudinal del tallo en comparación a tratamientos con menor aplicación de nitrógeno por hectárea. Mujica *et al.* (2009) observaron que la quinua es una planta exigente en nutrientes, principalmente en nitrógeno, calcio, fósforo y potasio, que requiere de planes de fertilización acordes al análisis de suelo, que repercutirán directamente en el desarrollo foliar de la planta. Igualmente, Nieto (1992) explica que el cultivo de quinua responde muy bien a la aplicación de N, P y K en dosis de 80-40-40 kg. Ha⁻¹.

Por otro lado, Schmöckel *et al.* (2017) afirman que los ácidos nucleicos y las proteínas son los constituyentes de mayor importancia para el protoplasma de las células. Por esta razón, la deficiencia de nitrógeno inhibe la división celular con una marcada reducción en el crecimiento de órganos, como tallos y hojas. De acuerdo con Mengel & Kirkby (2000), el fósforo tiene un papel estructural a nivel molecular y estructural, como en los enlaces diéster presentes en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos. De otra parte, el K es activador de procesos enzimáticos para la formación de almidón y proteínas.

Número de hojas

El número de hojas presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) donde los tratamientos T2 y T3 muestran incremento del follaje en el día 72 alcanzando un promedio de hojas de 85,5 y 112,5 respectivamente, de manera contraria con T1 que presentó 62 hojas promedio, convirtiéndose en el tratamiento con menor número de hojas al igual que el T0 (ver figura 2).

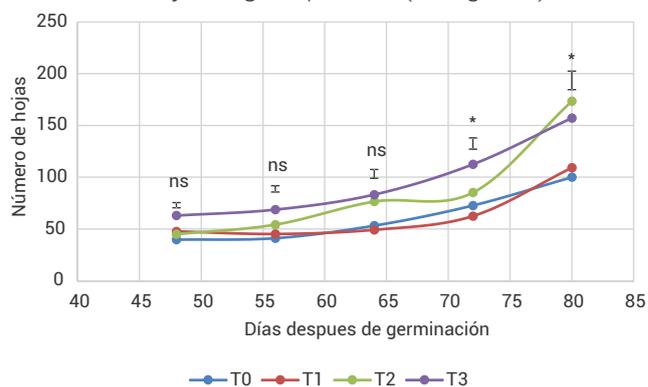


Figura 2. Número de hojas de plantas de quinua bajo la aplicación de diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) ns: no significancia * : significancia, $n=16$.

Castellanos *et al.* (2010) señalaron que el alto índice de área foliar generada por elevadas cantidades de fertilizantes aplicadas a una planta, no necesariamente

te indica mayor productividad, puesto que las plantas que son altas, podrían tener mayor número de hojas pero un bajo índice de cosecha. De la misma manera, Foyer & Paul (2001) reportaron que las hojas, como órganos productores de carbono, son exportadores netos de asimilados hacia los tejidos vertederos como semillas; por esta razón, la aplicación de fuentes nitrogenadas influyen directamente en la división celular, aumentando el área foliar y las tasas de translocación que favorecen las tasas fotosintéticas por parte del órgano fuente hacia el órgano vertedero (Castellanos, Segura & Ñustez, 2010). En este caso, los tratamientos T2 y T3 coincidieron con el mayor número de hojas durante los 80 días posteriores a la germinación.

Contenido de clorofila

Presentó diferencias significativas en las cuatro etapas fenológicas de la planta, donde fue mayor estadísticamente el T2, debido a que el contenido de clorofila está estrechamente relacionada con la condición nutricional de la misma, principalmente cuando los contenidos de nitrógeno disponible aumentan; sin embargo, se evidencia una reducción de clorofila en la etapa de antesis para todos los tratamientos.

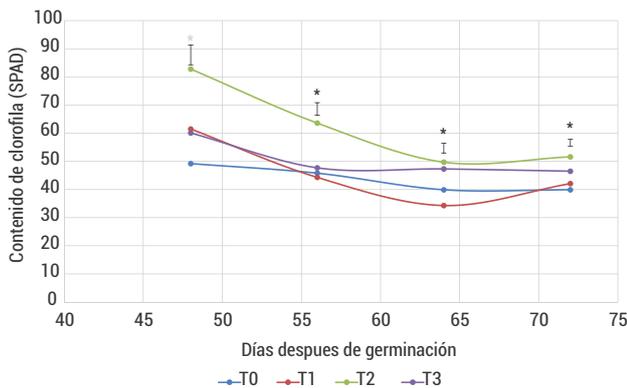


Figura 3. Contenido de clorofila en cuatro etapas fenológicas de plantas de quinua bajo la aplicación de diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) ns: no significancia *: significancia, $n=16$.

Adicionalmente, Molina (2010) afirma que la clorofila, aparte de realizar el proceso de fijación de CO_2 , interviene la síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular, debido a que el nitrógeno forma parte estructural de la clorofila interviniendo directamente en las fases vegetativas y reproductivas de la planta; además, al igual que el fósforo intervienen en la fotosíntesis y activación metabólica, desempeñando un papel clave en la respiración y el metabolismo energético (Salisbury & Ross, 1994).

Lo anterior concuerda con Castillo & Ligarreto (2010), quienes afirman que el contenido de clorofila en las plantas está estrechamente relacionado con la concentración de nitrógeno en las hojas y, por lo tanto, aumenta la condición nitrogenada del cultivo. Por lo contrario, su reducción disminuye el periodo de floración.

Número de panojas

El número de panojas/m² presentó diferencias significativas, donde fue mayor estadísticamente el tratamiento T2, debido a que se obtuvieron mayor número de plantas por metro cuadrado, respondiendo a la cantidad de panojas.

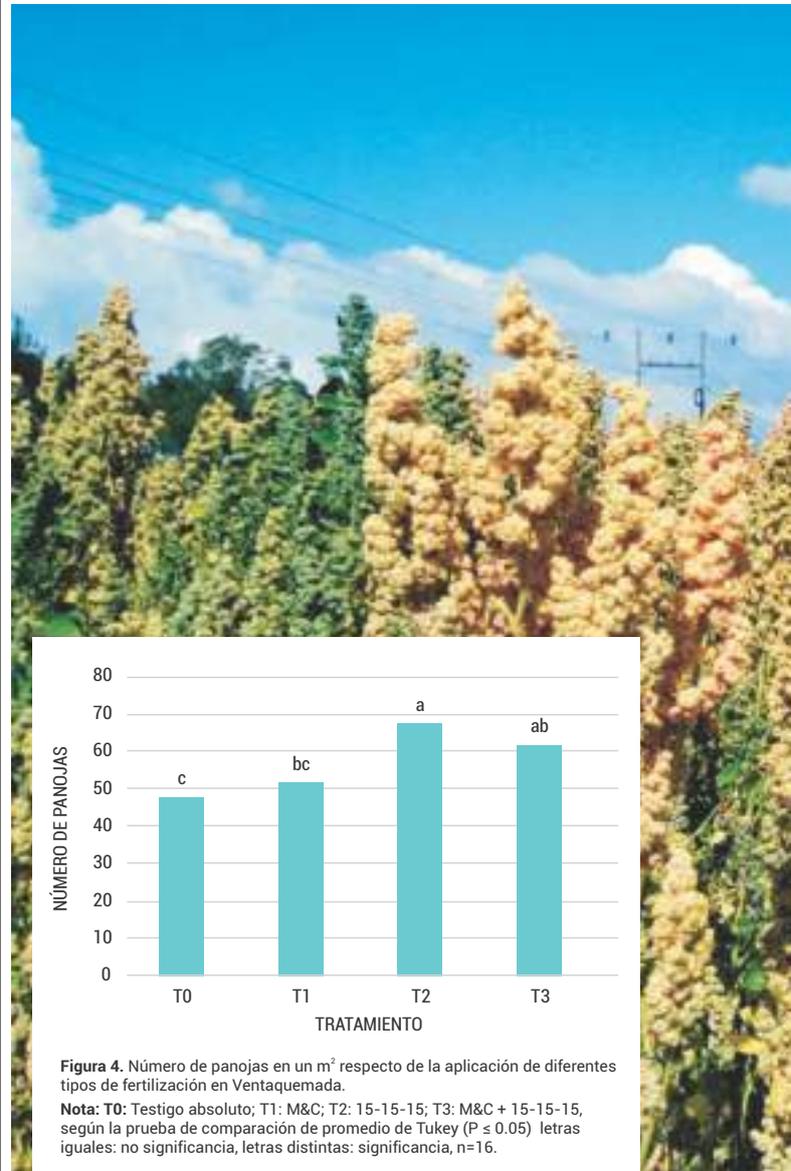


Figura 4. Número de panojas en un m² respecto de la aplicación de diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) letras iguales: no significancia, letras distintas: significancia, $n=16$.

Según Barrera *et al.* (2007), la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio, determina el rendimiento de la cosecha, debido a que a las cantidades suministradas y la disponibilidad de estos elementos para la planta, se encuentran estrechamente relacionadas con el desarrollo de actividades fisiológicas, fenológicas y productivas. Sin embargo, una excesiva aplicación de elementos y minerales no necesariamente asegura el aumento en el nivel de producción y calidad del grano (Salisbury & Ross, 1994; Marshner, 2002; Taiz & Zeiger 1998). Por tal razón, las altas aplicaciones aceleran el metabolismo y aumentan el número de órganos, tales como hojas, tallos, raíces y flores (Nieto, 1992).

Peso seco y fresco de panojas

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, evidenciando que el tratamiento T3 presentó un desarrollo vegetativo en cantidad de follaje, mientras que el tratamiento T0 y T1 presentaron valores desfavorables para los rendimientos en fresco y seco.

Según Ñustez *et al.* (2009), las plantas están compuestas de órganos fuente que corresponden a aquellos tejidos exportadores de asimilados hacia los vertederos que son los órganos que se favorecen de acuerdo con la absorción que genera la planta y a la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Las elevadas concen-

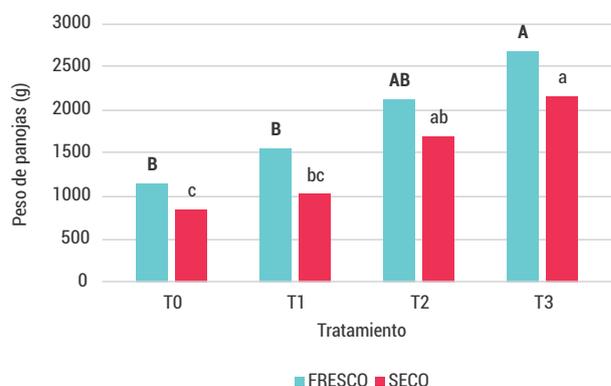


Figura 5. Rendimiento en materia seca y fresca de la panoja respecto a la aplicación de diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) letras iguales: no significancia, letras distintas: significancia, $n=16$.

traciones y disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentan el contenido de materia seca a niveles de los vertederos que son los órganos a cosechar, influyendo en el rendimiento del cultivo. Igualmente, las plantas que se encuentran con un equilibrio nutricional presentan mayor porcentaje de absorción de agua que se refleja en órganos muy suculentos con altos valores en materia fresca.

El peso del T3 se debe a que la mezcla con el abono orgánico aportó Ca, Mg y B influyendo en el desarrollo radicular, división y crecimiento celular, dando consistencia a tejidos y contribuyendo en la síntesis de hormonas, determinando en gran parte la calidad a la cosecha. Además, el Mg interviene en el metabolismo energético de la planta al formar complejos con el ATP, por lo cual, participa en la fotosíntesis y activación metabólica, síntesis de proteínas, azúcares y grasas y aceites presentes en la semilla de quinua (Salisbury & Ross, 1992; Marschner, 1998; Taiz & Zeiger, 2008).

Peso fresco y seco de plantas

Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos de fertilización, principalmente, en las etapas de ramificación, antesis y grano lechoso, donde el tratamiento T2 y T3 mostraron respuesta positiva al plan de fertilización en comparación con el tratamiento testigo T0 que se convirtió en el tratamiento con menor peso fresco (ver figura 6A).

La variable peso seco mostró diferencias estadísticas significativas en la etapa de ramificación, antesis y grano lechoso, mientras que a las 6 hojas verdaderas, no se evidenciaron diferencias significativas, presentando el tratamiento T2 y T3 los valores de mayor rendimiento en peso seco en comparación al tratamiento T0 (ver figura 6B).

De acuerdo con las diversas investigaciones, se ha encontrado que la aplicación de fertilizante químico tiene la función de proveer de manera inmediata nutrientes que no se encuentran disponibles en el suelo (Cristancho, SF), y, por lo tanto, la producción es máxima en los intervalos óptimos de aplicación (Pascual & Carrillo, 2013). Sin embargo, el T3 mostró un elevado desarrollo debido a que la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo mantienen el equilibrio con el fertilizante químico, generando disponibilidad de nutrientes a lo largo del desarrollo productivo (Plazas & García, 2014). El mayor aporte de N, P y K le da a la planta mayor posibilidad de crecer debido a que estos elementos están directamente involucrados con la formación de estructuras, actividad metabólica, síntesis de hormonas, proteínas y azúcares (Taiz & Zeiger 1998).

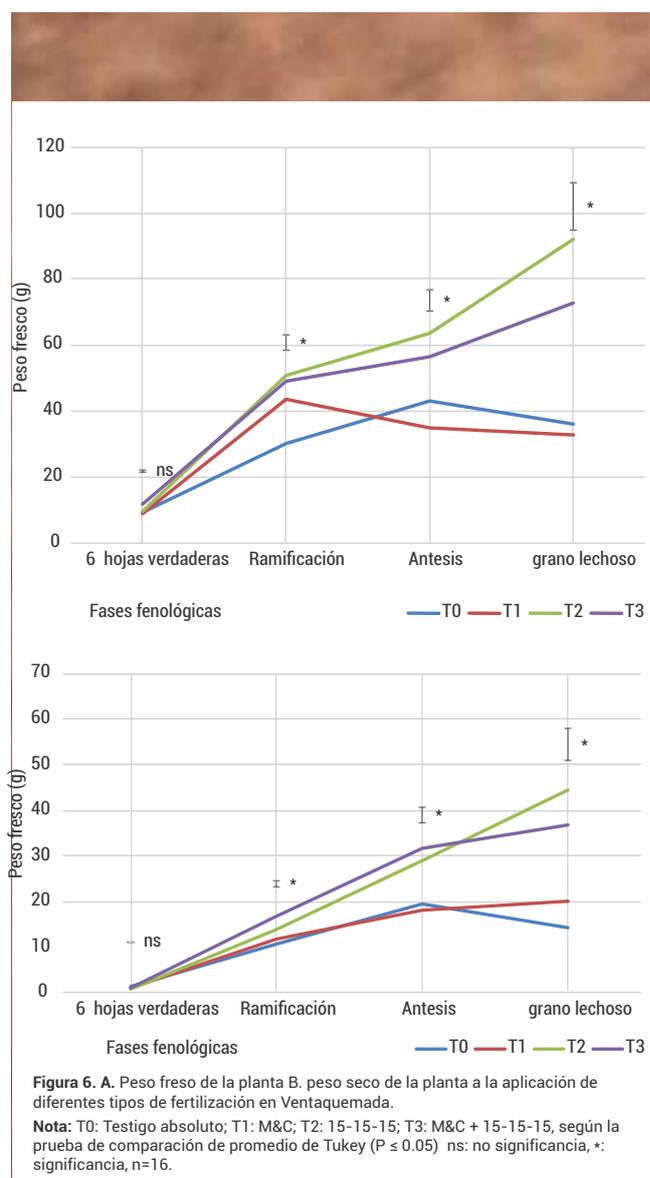


Figura 6. A. Peso fresco de la planta B. peso seco de la planta a la aplicación de diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) ns: no significancia, *: significancia, n=16.

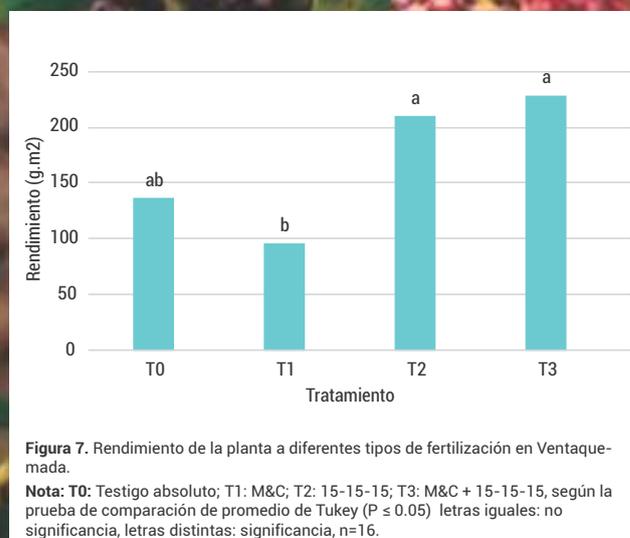


Figura 7. Rendimiento de la planta a diferentes tipos de fertilización en Ventaquemada.

Nota: T0: Testigo absoluto; T1: M&C; T2: 15-15-15; T3: M&C + 15-15-15, según la prueba de comparación de promedio de Tukey ($P \leq 0.05$) letras iguales: no significancia, letras distintas: significancia, n=16.



Para los valores del peso seco, Hall (1980) afirma que el contenido de carbono hace parte estructural de la planta como principal componente del vegetal en estados de deshidratación; adicionalmente, Sánchez *et al.* (2011) afirman que el rendimiento de materia seca de cualquier planta está netamente ligada a la disponibilidad de nutrientes aportados por planes de fertilización edáfica o foliar, lo que generará un aumento o reducción del follaje seco.

Rendimiento en grano

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T2 y T3, siendo los de mayor rendimiento en grano por metro cuadrado con un promedio de producción de 210 y 228 g.m², respectivamente, convirtiéndose el T1 en el menos favorable con un rendimiento menor a 100 g.m² (ver figura 7).

Finalmente, el rendimiento de la producción es el eslabón principal de cualquier cultivar (Wahli, 1990), por lo que Peralta (1985) observó un aumento en el rendimiento de kilogramos de semilla por hectárea cuando al mismo tiempo aumenta la aplicación de nitrógeno hasta en 80 Kilogramos; sin embargo, la producción tiende a disminuir cuando la cantidad de nitrógeno aplicada sobrepasa este valor, de igual manera, las aplicaciones entre los 40 y 80 Kilogramos por hectárea de fósforo potencializan la producción de semilla.

Además, el rendimiento por hectárea se encontró sobre el nivel promedio de producción nacional que es de 1,5t Ha⁻¹ (Carvajal, 2015), y cercano a la producción promedio de 3,4t Ha⁻¹ (INTA, 2015) en países como Perú, Ecuador y Bolivia, ya que en el T3 se obtuvo un rendimiento de 2,28t Ha⁻¹ seguido del T2 que presentó una producción de 2,1t Ha⁻¹.

CONCLUSIONES

La aplicación de fertilizantes químico más orgánico-mineral, presentó los mejores resultados en peso seco y fresco de panoja, peso seco de plantas y rendimiento en grano, contenido de clorofila, número de hojas, número de panojas por m², peso fresco de plantas y longitud de tallo, mientras que el fertilizante orgánico-mineral se convirtió en el tratamiento con menor desempeño fisiológico y productivo, convirtiéndose en una importante opción para fertilizar que favorece el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de quinua bajo condiciones del altiplano Cundiboyacense. 



BIBLIOGRAFÍA

- BAZILE, D., BERTERO, D., & NIETO, C. (2014).** Estado del arte de la quinua en el mundo 2013. Santiago de Chile: FAO.
- BAZILE, D., FUENTES, F., & MUJICA À. (2013).** Historical Perspectives and Domestication. En: Bhargava, A. & Shilpi S., Quinoa, BOTANI, PRODUCTION AND USES (pp. 16 -35).
- BARRERA, L., NAVIA, L., & ÑUSTEZ, E. (2007).** Efecto del nivel de fósforo y potasio sobre el rendimiento de papa criolla en el departamento de Nariño. Revista latinoamericana de papa, 14(1), 51-60.
- BERNAL, C., VILLEGAS, E., SANDOVAL, G., LACHE, A., & CORREA, C. (2015).** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Colombia. Primera etapa: un nuevo enfoque de negocio. Fundación Universitaria de América. Bogotá (Colombia). 161: 1-31.
- BETANCOURTH, C., BARCO, O., & ROSAS, I. (2006).** Evaluación de transferencia de tecnología para tres genotipos promisorios de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd) en los municipios de Pasto y Guaitarilla del departamento de Nariño. Revista de ciencias agrícolas, 24(1), 74-87.
- BERTERO, H.D. (2001).** Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Chenopodiaceae) puede llegar a ser un cultivo importante para la agricultura argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 36, 1-6.
- BOJANIC, A. (2011).** La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Bolivia: FAO.
- CARVAJAL, A. (2015).** Futuro de la quinua en Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Recuperado el 25 de junio de 2016, de <http://www.ciatnews.cgiar.org/es/2015/08/25/dos-dias-para-planear-el-futuro-de-la-quinua-en-colombia/>.
- CASTELLANOS, M., SEGURA, M., & ÑUSTEZ, C. (2010).** Análisis del crecimiento y relación fuente – demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá. (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía, 63(1), 5253-5266.
- CASTILLO, A., & LIGARRETO, G. A. (2010).** Relación entre el nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. Revista corpoica, 11(2), 122-128.
- CRISTANCHO, J. (S.F).** Efecto de la fertilización química y la aplicación de humus solido de lombriz roja californiana sobre el desarrollo y producción de arroz en el suelo de Ambalena. (Trabajo de tesis). Universidad abierta y a distancia, Ibagué, Colombia.
- CURTI, R., TÁRTARA, S., MANIFESTO, M., & BERTERO, D. (2015).** Origen, prácticas de cultivo, usos y diversidad genética de quinua del Noroeste Argentino (NOA) en el contexto del conocimiento actual del germoplasma de América del Sur. Ediunju.
- DELGADO, A., PALACIOS, J., & BETANCOURTH, C. (2009).** Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd) en el municipio de Iles, Nariño. Agronomía Colombiana, 27(2), 159-167.
- DUEÑAS, Q. (2014).** Vigilancia competitiva dela quinua: potencialidad para el departamento de Boyacá. Suma de Negocios, 5(12), 85-95.



- FLEMING J., & GALWEY N. (1995).** Quinoa (*Chenopodium quinoa*). En: Williams J.T. (Ed.), *Cereals and Pseudocereals* (pp. 3-83). London: Chapman & Hall.
- FOYER, C., & PAUL, M. (2001).** Source-Sink Relationships. En: *Encyclopedia of Life Sciences*. United Kingdom: Nature Publishing Group.
- HANKE, F. (2009).** La nutrición de la planta y su problemática en la agricultura. Tunja: Ed. Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- IDEAM. (S.F).** Condiciones agroclimáticas del municipio de Ventaquemada (Boyacá). Recuperado el 20 de mayo de 2016, de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/clima%20no.%201%20-%20ventaquemada%20\(14%20pag%20-%20980%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/clima%20no.%201%20-%20ventaquemada%20(14%20pag%20-%20980%20kb).pdf).
- JACOBSEN, S., & STØLEN. (1993).** Quinoa – Morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy*, 2(1), 19-29.
- GARCÍA, M. (2016).** La quinua, una alternativa para el departamento de Boyacá. Recuperado el 15 de agosto de 2017, de https://www.researchgate.net/publication/317704143_La_quinua_una_alternativa_para_el_departamento_de_Boyaca.
- GAVIRIA, J., & TORRES, P. (2006).** Estudio técnico económico para la industrialización de la quinua (grano y harina) como eslabón jalonador de la cadena productiva en el departamento de Boyacá. Sogamoso, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- INTA (2015).** Semillas de origen Nacional. Recuperado de <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=27315>.
- MELÉNDEZ, G., & MOLINA, E. (2002).** Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica: Laboratorio de suelos y foliares.
- MARSCHNER, H. (2002).** Mineral nutrition of higher plants. Amsterdam: Academic press.
- MENDEL, K., & KIRKBY, E. (2000).** Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers.
- MERCHANCANO, J. (2010).** Manual técnico para implementar buenas prácticas agrícolas BPA en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Nariño, Codespa de Colombia.
- MOLINA, V. (2010).** Determinación del contenido de clorofila y nitrógeno foliar mediante SPAD en *Vaccinium corymbosum* L. (Trabajo de tesis). Universidad de Talca, Talca, Chile.
- MONTOYA, R., MARTÍNEZ, V., & PERALTA, B. (2005).** Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Innovar*, 15(25), 103-119.
- MUJICA, A. (2009).** Agronomía del cultivo de la quinua. Recuperado de <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap2.htm>.
- MUJICA, A. (1992).** Granos y leguminosas andinas. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: FAO.
- MUJICA, A. (1977).** Tecnología del cultivo de quinua. Fondo Simón Bolívar. Ministerio de alimentación. Zona Agraria XII. Puno, Perú: IICA. UNTA.
- NISHUKAWA, J. (2012).** Manual de nutrición y fertilización de quinua (1ª ed.). Lima: Ed. Funart.
- NIETO, C., & VIMOS, C. (1992).** La quinua cosecha y poscosecha algunas experiencias en Ecuador. Ecuador: INIAP la estación experimental Santa Clara.
- ORSAG, C., LEÓN, L., PACOSACA, O., & CASTRO, E. (2013).** Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. *Revista Boliviana de ciencias sociales*, 16, 89-112.
- PASCUAL, L., & CARRILLO, R. (2013).** Resultados de uso de lombricompost y el fertilizante químico para mejorar la productividad. *Revista El cafetal*. Recuperado de <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Lombricompost-fertilizante-quimico-productividad>
- PEÑA, C., GRAGEDA, C., & VEGA, N. (1998).** Manejo de los nitrogenados en México: Uso de técnicas Isotópicas. *Terra Latinoamericana*, 20(1), 51-56.
- PERALTA, E. (1985).** Prácticas agronómicas en el cultivo de quinua. En: Curso de quinua, Nivel técnicos. Quito: INIAP. Estación experimental Santa Catalina.
- PLAZAS-LEGUIZAMÓN, N. Z., & GARCÍA-MOLANO, J.F. (2014).** Los abonos orgánicos y la agremiación campesina: una respuesta a la agroecología. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 170-176.
- RIVAS P, GUTIÉRREZ M., CÁRDENAS C., & CÁRDENAS G. (2011).** La quinua: una alternativa para la seguridad alimentaria de vida de pequeñas familias productoras. Consideraciones para políticas de fomento en Colombia. Cartago, Costa Rica: CATIE.
- SÁNCHEZ, M., AGUILAR, C., VALENZUELA, N., SÁNCHEZ, C., JIMÉNEZ, M., & VILLANUEVA, C. (2011).** Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 281-295.
- SCHMÖCKEL, S. M., LIGHTFOOT, D. J., RAZALI, R., TESTER, M., & JARVIS, D. E. (2017).** Identification of putative transmembrane proteins involved in salinity tolerance in *Chenopodium quinoa* by integrating physiological data, RNAseq, and SNP analyses. *Frontiers in plant science*, 8, 1-12.
- ROZAS, S., & ECHEVERRÍA, E. (1998).** Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 504) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía La Plata*, 103(1), 37-44.
- SALISBURY, F., & ROSS, C. (1994).** Fisiología vegetal. México: Grupo Editorial Iberoamericano.
- TAIZ, L., & ZEIGER, E. (1998).** Plant Physiology. Sunderland Massachusetts, EE.UU.: Sinauer Associates.
- UNAL & MADR, (2005).** Alanza "cadena agroalimentaria de la quinua". Recuperado de <http://observatorio.misionrural.net/alianzas/productos/quinua/Boyaca.pdf>.

