Distancia adecuada de siembra mecanizada de quinua para condiciones del Altiplano Central de Bolivia

María Rosario Cayoja Orosco[1]
[1]Programa Nacional de Quinua
Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
E-mail: mariacayoja@yahoo.es

Resumen

Con la finalidad de conocer el comportamiento de dos cultivares de quinua sembradas a diferentes distancias entre planta y surco, y recomendar la mejor práctica para aplicar mecanización en el altiplano central de Bolivia, se diseñó un experimento factorial (parcela subdividida) con tres factores: 1) variedad, con dos niveles (Variedad Real K'ellu de crecimiento ramificado y ecotipo Soracachi, sin ramificación); 2) distancia entre surcos, con tres niveles (80 cm, 50 cm y 20 cm); y 3) distancia entre plantas en el surco, con tres niveles (Chorro continuo, a 40 cm y 80 cm de distancia). Las variables de respuesta consideradas fueron: rendimiento en grano, índice de cosecha, porcentaje de grano menudo, tamaño de grano. La distancia de siembra de 80 cm entre surco, y distancia entre planta a planta de 40 cm en el surco, influye significativamente en la obtención de buenos rendimientos de grano de quinua, con tamaño grande y bajo porcentaje de grano pequeño. Una mayor población de plantas por m^2 ocasiona competencia en la absorción de nutrientes, debilitando las plantas al grado de no soportar los embates de factores bióticos y abióticos. Cultivares de quinua ramificados tienden a obtener mayor rendimiento que aquellos que forman una sola panoja. La distancia entre surco y planta influye en la proporción de tamaño de grano pequeño obtenido, a mayor distancia la planta desarrolla mejor, favoreciendo la expresión genotípica de la dimensión de grano grande en cada cultivar de quinua.

Palabras clave: Quinua, siembra, densidad, distancia de siembra

Introducción

Una de las características diferenciales de los sistemas mecanizados de siembra de quinua en los diferentes pisos ecológicos del altiplano boliviano, es la distribución de semilla a diferentes distancias entre surcos y entre plantas. La maquinaria específica para quinua creada en el altiplano sud, donde los terrenos son arenosos, son utilizados también al altiplano central y norte en terrenos pesados, cuya labor es observada por los productores por las distancias largas dejadas, y "espacio desaprovechado". En terrenos pesados del altiplano central, necesitamos conocer el comportamiento del cultivo empleando distintas distancias de siembra entre surcos y entre plantas y recomendar el sistema más ventajoso, considerando también el efecto de hábito de crecimiento del cultivo.

Con estos antecedentes el objetivo general del trabajo de investigación fue:

- Determinar las distancias de siembra de quinua más apropiadas para las

condiciones del Altiplano Central de Bolivia

Los objetivos específicos:

- Determinar si el sistema de siembra incide en el rendimiento en grano de quinua.
- Determinar si el hábito de crecimiento de la variedad o ecotipo a sembrar determina el comportamiento del cultivo en diferentes sistemas de siembra.
- Determinar si el sistema de siembra incide en el índice de cosecha.
- Determinar si el sistema de siembra incide en el porcentaje de grano pequeño obtenido.

Materiales y métodos

La investigación se realizó el año agrícola 2015–2016, en parcelas implementadas por INIAF en predios del Gobierno Autónomo Departamental de Oruro en el Centro Agropecuario de Desarrollo Agropecuario (CADEA), en el municipio de Caracollo, ubicado a 17° 38’ de latitud Sud y 67° 13’ de longitud Oeste, a una altitud de 3625 msnm. La precipitación media anual es de 250 mm, y la temperatura media anual es de 9,32 ºC, la humedad relativa media anual es de 46 % (SENAMHI 2015).

Los surcos fueron trazados con tractor e implementos necesarios, la distribución de semilla fue manual, simulando siembra en mata a dos distancias entre plantas, y a chorro continuo (similar al sistema de siembra local), con una densidad de siembra de 6 kg/ha para cualquier tratamiento.

Cada unidad experimental tenía un tamaño de 28 m^2. Las muestras y toma de datos se realizaron en los 6 m centrales.

Los tratamientos fueron la combinación de tres factores:

Factor Variedad (V): 2 cultivares de quinua (Variedad Real K’ellu de crecimiento ramificado y ecotipo Soracachi, sin ramificación).

Factor Distancia entre surco (DS): 3 distancias entre surcos (0,8 m, 0,5 m y 0,2 m)

Factor Distancia entre planta (DP): 3 distancias entre planta en el surco (Chorro continuo, 0,40 cm y 0,80 cm).

Establecimos un ensayo tri factorial con un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Fueron consideradas las siguientes variables de respuesta: número de plantas/m^2, rendimiento (kg/ha), índice de cosecha expresado en porcentaje (%), tamaño del grano (diámetro y espesor de 20 granos medidos en mm, y porcentaje de grano pequeño (aquellos menores o iguales a 1,6 mm).

Sobre la base del modelo definido se realizaron los análisis de varianza para probar hipótesis acerca de los efectos fijos y comparaciones de medias mediante la prueba t o LSD de Fisher para determinar la diferenciación o no de las variables de respuesta. Finalmente se realizó el análisis de correlación lineal (coeficiente de Pearson) para conocer el grado de asociación existente entre las diferentes variables cuantiabas (Morales *et al.*, 2009).

Para todos los análisis estadísticos se empleó el programa estadístico InfoStat Versión 2016.

Resultados y discusión

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron diferentes factores bióticos y abióticos, que redujeron la población de plantas en cada una de las parcelas, especialmente en aquellas que en un principio constituían testigo (al voleo y rastra superficial), las cuales presentaron un 100 % de emergencia, con una población extremadamente tupida, la cual pereció íntegramente al presentarse una baja temperatura (- 7 ºC) antes de la formación de botón floral, por lo que no se consideró su tratamiento en el ensayo.

Resumen de análisis de varianza

En el Cuadro 1, se aprecia el resumen de análisis de varianza de efectos fijos de las variables consideradas en el estudio:

Cuadro 1. Resumen de análisis de varianza de variables: número de plantas por metro cuadrado, rendimiento en grano, índice de cosecha, diámetro de grano y porcentaje de grano pequeño.

Fuente de Variación	Nº plantas/m^2	Rendimiento en grano (kg/ha)	Índice de Cosecha	Diámetro de grano (mm)	Grano pequeño (%)
Coeficiente de variación (%)	*10,12*	*67,38*	*54,63*	*3,82*	*22,06*
Variedad	0,0001 **	0,0022 **	0,001 **	0,5857 NS	0,6466 NS
Distancia surco	0,0001 **	0,0002 **	0,001 **	0,0001 **	0,0001 **
Distancia planta	0,0001 **	0,2053 NS	0,6994 NS	0,2511 NS	0,0165 *
Variedad*distancia surco	0,0001 **	0,8361 NS	0,2765 *	0,1970 *	0,0047 **
Variedad*distancia planta	0,0001 **	0,5553 NS	0,6742 NS	0,7971 NS	0,0070 **
Distancia surco*distancia planta	0,0001 **	0,4250 *	0,8149 NS	0,9225 NS	0,0001 **
Variedad*Distancia surco*distancia planta	0,0001 **	0,6491 *	0,2228 *	0,9934 NS	0,1294 **

A partir de la matriz de análisis de varianza, realizamos la comparación de medias de los factores significativamente diferentes empleando el test LSD de Fisher a una probabilidad de 0,05.

Número de plantas por metro cuadrado

El número de plantas por metro cuadrado es significativamente diferente en todos los factores estudiados.

Cuadro 2. Test LSD Fisher para número de plantas/m^2 con variedad

Variedad	Nº plantas/m^2	
Ecotipo Soracachi	12,97	a
Variedad Real K'ellu	22,44	b

Alfa=0,05 DMS=0,84836 Error: 3,2143 gl: 51

Analizando el factor Variedad (Cuadro 2), la media de número de plantas por m^2, es mayor con la variedad Real K'ellu que el ecotipo Soracachi por las características de resiliencia que tienen estos cultivares. Se observa que en una mata sembrada con aproximadamente 40 semillas, todas emergen, pero al ir creciendo, la variedad Real K'ellu permite la sobrevivencia de mayor cantidad de plantas por mata, en cambio el ecotipo Soracachi, permite sobrevivir sólo uno o dos de los mejores ejemplares por mata, dejando relegados al resto de las plantas emergidas alrededor.

Cuadro 3. Test LSD Fisher para variable Número de plantas/m^2 con factor distancia de surco

Distancia entre surco	Nº plantas / m^2	
80 cm	7,21	a
50 cm	14,79	b
20 cm	31,13	c

Alfa=0,05 DMS=1,03903 Error: 3,2143 gl: 51

El factor distancia surco (Cuadro 3), distancia planta va correlacionada negativamente, a valores mayores de distancias entre surcos se obtiene menor número de plantas.

Análisis de rendimiento de grano

Del análisis de varianza del rendimiento de grano obtenido, se puede observar en el Cuadro 1, alta diferencia significativa al considerar el factor variedad y distancia entre surcos, y efectos significativos entre las interacciones.

El factor variedad influye mucho en la obtención de un buen rendimiento, obteniendo mayores rendimientos con la variedad Real K'ellu (160,74 Kg/ha), en comparación con el ecotipo Soracachi (95,10 Kg/ha). Ver Cuadro 4.

Cuadro 4. Test LSD Fisher para variable rendimiento en grano y factor variedad o ecotipo.

Variedad o ecotipo	Rendimiento grano (kg/ha)	
Soracachi	95,10	a
Real K'ellu	160,74	b

Alfa=0,05 DMS=40,78602 Error: 7429,3007 gl: 51

También la distancia entre surco reporta alta diferencia significativa, los rendimientos son mayores a 80 cm de distancia de siembra entre surcos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Test LSD Fisher para rendimiento en grano con distancia de surco

Distancia entre surco	Rendimiento grano (kg/ha)	
20 cm	81,27	a
50 cm	113,56	a
80 cm	188,92	b

Alfa=0,05 DMS=49,95247 Error: 7429,3007 gl: 51

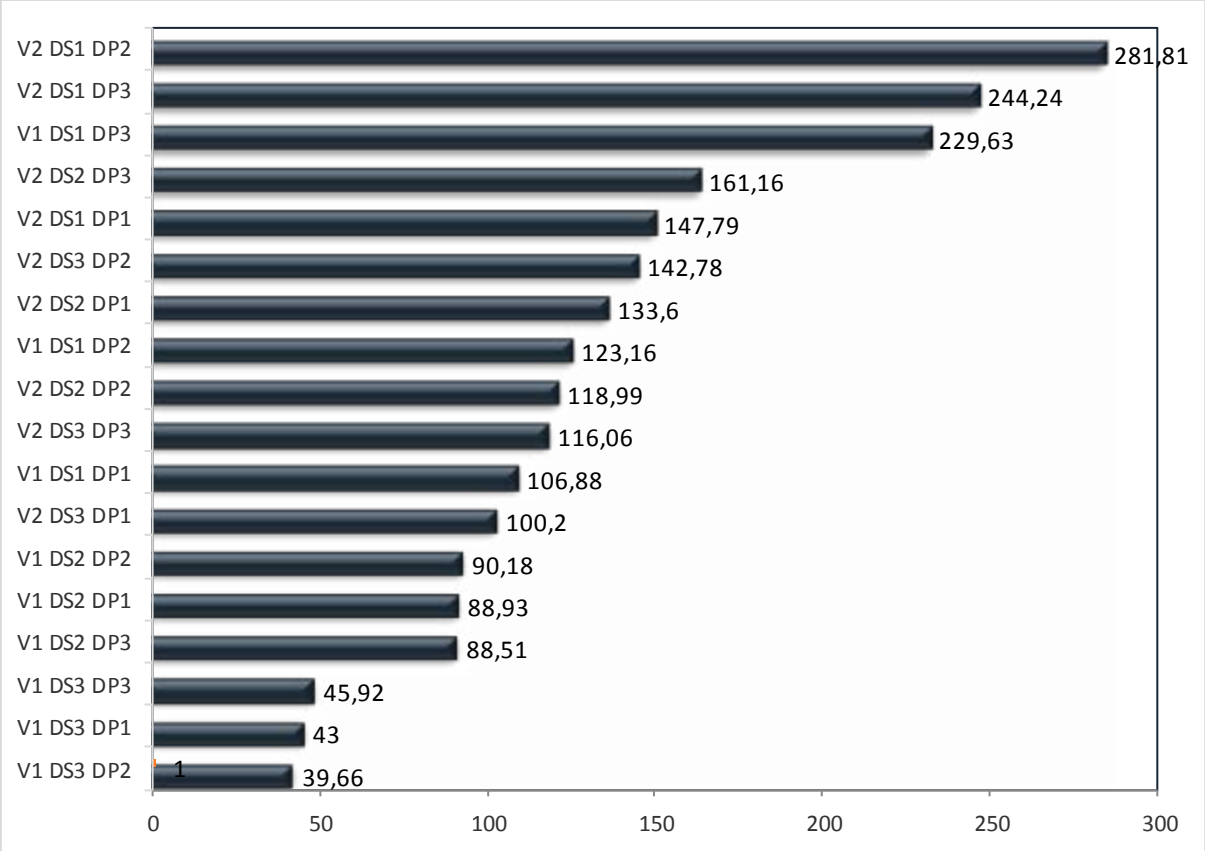
También existe un efecto significativo en la interacción de los factores Distancia entre surco y distancia entre planta, obteniendo los mayores rendimiento cuando las distancias son mayores, Cuadro 6.

Cuadro 6. Test LSD Fisher para rendimiento en grano en las medias; distancia surco - distancia planta.

Distancia entre surco	Distancia entre planta	Media rendimiento grano (kg/ha)	
20 cm	Chorro continuo	71,60	a
20 cm	80 cm	81,00	a
20 cm	40 cm	91,22	a
50 cm	40 cm	104,58	a
50 cm	Chorro continuo	111,26	a
50 cm	80 cm	124,83	ab
80 cm	Chorro continuo	127,34	ab
80 cm	40 cm	202,49	bc
80 cm	80 cm	236,93	c

Alfa=0,05 DMS=86,52021 Error: 7429,3007 gl: 51

El Gráfico 1, indica las medias de los factores variedad, distancia entre surco y distancia ente planta, a mayores distancias se obtiene mayores rendimientos, siendo la variedad K'ellu la que mejor responde a estas características.



Gráfica 1. Rendimiento en grano de quinua (Kg) media de variable o ecotipo, distancia surco y distancia planta

Dónde: V1 = Ecotipo Soracachi, V2 = Variedad Real K'ellu, DS1 = Distancia entre surco 80 cm, DS2 = Distancia entre surco 50 cm, DS3 = Distancia entre surco 20 cm, DP1 = Distancia entre planta a chorro continuo, DP2 = Distancia entre planta 40 cm, DP3 = Distancia entre planta 80 cm.

Los efectos de factores como variedad, distancia surco y distancia planta, estadísticamente reporta una baja diferencia entre tratamientos, y haciendo la comparación de medias mediante el test de Fisher al 0,05%, refleja la importancia que tiene la distancia de siembra alejada entre surco y plantas para obtener mayor rendimiento, sin ser limitante el uso de variedades ramificadas o no.

El comportamiento del cultivo de quinua es diferente al ser sembrada en diferentes distancias entre surco, obteniendo mayores rendimientos cuando los surcos están distanciados a 80 cm unos de otros, y la distancia entre planta es también de 80 cm entre planta a planta.

La variedad Real K'ellu y el ecotipo Soracachi reportaron mayores rendimientos cuando fueron sembrados a distancia de surco de 80 cm, la distancia entre planta a planta no tiene influencia sobre el rendimiento obtenido.

Análisis de índice de cosecha

Para obtener valores visibles, expresamos el índice de cosecha en porcentaje. El análisis de varianza reporta alta diferencia estadística para los factores Variedad y distancia entre surco, y diferencia significativa entre las interacciones variedad por distancia surco y la interacción de los tres factores estudiados (Cuadro 1):

Realizando las pruebas de comparación de medias, aplicando el test LSD Fisher al 0,05 %, se encuentra una diferencia significativa entre la media de las variedades (12,86% para el ecotipo Soracachi, y 25,99 % para la variedad Kellu (Cuadro 7).

Cuadro 7. Test LSD Fisher para el índice de cosecha con variedad o ecotipo

Variedad o ecotipo	Índice de cosecha (%)	
Soracachi	12,86	a
Real K'ellu	25,99	b

Alfa=0,05 DMS=40,78602 Error: 7429,3007 gl: 51

Esto indica que la variedad Real K'ellu, a pesar de ser ramificada y frondosa, la relación peso grano / peso planta, es mayor que en el ecotipo Soracachi, cuya característica de tener plantas no ramificada. De similar forma, la comparación de medias del índice de cosecha de quinua sembrada a diferentes distancias entre surco reporta diferencias significativas. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Test LSD Fisher para el índice de cosecha con distancia de surco

Distancia entre surco	Índice de cosecha (%)	
20 cm	9,59	a
50 cm	19,79	b
80 cm	28,90	c

Alfa=0,05 DMS=49,95247 Error: 7429,3007 gl: 51

Es mayor el índice de cosecha al sembrar quinua a distancias entre surco de 80 cm en relación a las otras distancias de siembra. Los factores variedad y distancia surco también presentan diferencias significativas entre sus variantes, el Cuadro 9 indica lo siguiente:

Cuadro 9. Test LSD Fisher para rendimiento en grano medias de distancia surco - distancia planta.

Variedad o ecotipo	Distancia entre surco	Índice de cosecha (%)	
Ecotipo Soracachi	20 cm	4,56	a
Ecotipo Soracachi	50 cm	14,55	b
Variedad Real K'ellu	20 cm	14,62	b
Ecotipo Soracachi	80 cm	19,46	bc
Variedad Real K'ellu	50 cm	25,03	c
Variedad Real K'ellu	80 cm	38,33	d

Alfa=0,05 DMS=86,52021 *Error: 7429,3007 gl: 51*

Existe efectos significativos de las interacciones de la variedad o ecotipo empleado en la siembra con la distancia entre surco. Se observa que la variedad Real K'ellu y Soracachi reportan mayor índice de cosecha si están sembradas a 50 u 80 cm de distancia entre surco.

De la interacción de los factores variedad, distancia de siembra y distancia entre plantas se deduce que la variedad Real K'ellu, o ecotipo Soracachi, sembradas a distancias de 80 o 50 cm entre surcos, y 40 u 80 cm entre plantas reportan mejores índices de cosecha que cuando están sembradas en surcos distanciados a 20 cm y a chorro continuo.

Análisis del tamaño de grano

El tamaño de grano está determinado por el diámetro y espesor de grano. Del material observado, la diferencia en el espesor de grano no es significativa, varía entre 1,1 ± 0,12 mm.

El diámetro de grano reporta diferencia altamente significativa cuando se considera el factor distancia de surco en la siembra significativa. El Cuadro 10 indica lo siguiente: El promedio de diámetro de grano es mayor en aquellas parcelas donde la distancia de siembra es de 80 cm (2,27 mm), y a distancia menor de siembra, el diámetro de grano también es menor (2,12 mm).

Cuadro 10. Test LSD Fisher para el diámetro de grano y el factor distancia de surco

Distancia entre surco	Índice de cosecha (%)	
D Surco 20 cm	2,12	a
D Surco 50 cm	2,21	b
D Surco 80 cm	2,27	c

Alfa=0,05 DMS= 0,04875 *Error: 0,0071 gl: 51*

La distancia surco influye en la cosecha de grano grande, a mayor distancia de surco en la siembra (80 cm), el grano desarrolla mejor. Este aspecto puede ser relacionado con la cantidad de nutrientes disponible en el suelo, hay mayor disposición de nutrientes para aquellas plantas o matas de plantas que se encuentran alejadas de otras.

Análisis del porcentaje de grano pequeño

Este parámetro sirve para determinar el porcentaje de grano pequeño que contiene la cosecha de quinua de cada una de las unidades experimentales. En el Cuadro 1 se anuncia que la distancia entre surco y la interacción de distancia surco por distancia planta son altamente significativos. Sea la variedad Real Kellu o el ecotipo Soracahi reportan mayor cantidad de grano pequeño cuando la siembra es realizada a poca distancia. A mayor distancia de surco es menor la cantidad de grano pequeño obtenido.

Cuadro 11. Test LSD Fisher para el porcentaje de grano menudo y el factor distancia de surco

Distancia entre surco	Índice de cosecha (%)	
D Surco 80 cm	15,33	a
D Surco 50 cm	20,79	b
D Surco 20 cm	33,53	c

Alfa=0,05 DMS= 2,96780 *Error: 26,2243 gl: 51*

Existe un elevado porcentaje de grano pequeño en aquellas parcelas sembradas en surcos distanciados a 20 cm, independiente a la cercanía de las plantas o matas sobre el surco (Cuadro 11).

Correlación de las variables cuantitativas:

Las correlaciones existentes entre las variables estudiadas son las relacionadas al índice de cosecha y rendimiento de grano (correlación positiva); y el índice de cosecha con el porcentaje de grano menudo (correlación negativa). Cuadro 12.

Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson para variables consideradas en estudio de distancia de siembra de quinua

Variable	Nº plantas/m^2	Rendimiento en grano (kg/ha)	Grano menudo (%)	Índice de Cosecha	Diámetro de grano (mm)
Nº plantas/m^2	1,00				
Rendimiento en grano (kg/ha)	-0,10	1,00			
Grano menudo (%)	0,45	-0,49	1,00		
Índice de Cosecha	-0,16	**0,78 ***	**-0,53 ***	1,00	
Diámetro de grano (mm)	-0,33	0,45	-0,49	0,43	1,00

Conclusiones

- La distancia de siembra de 80 cm entre surco, y distancia entre planta a planta de 40 cm en el surco, influye significativamente en la obtención de buenos rendimientos de grano de quinua, con tamaño grande y bajo porcentaje de grano menudo.

- Una mayor población de plantas por m^2 ocasiona competencia en la absorción de nutrientes, debilitando las plantas al grado de no soportar los embates de factores bióticos y abióticos.

- En la variabilidad del germoplasma de quinua podemos encontrar la característica de resiliencia diferenciando algunos cultivares que de 40 semillas sembradas, permiten la sobrevivencia de una sola dos plantas por punto de siembra, en cambio, de llegan a sobrevivir más de 20 plantas en un mismo punto.

- Cultivares de quinua ramificados tienden a obtener mayor rendimiento que aquellos que forman una sola panoja.

- Los mayores rendimientos por m^2, son obtenidos en aquellas parcelas donde la distancia entre surco es de 80 cm, y la distancia entre planta sobre el surco es igual o mayor a 40 cm.

- El índice de cosecha está asociada a la variable rendimiento y distancia entre surco, a mayor valor de éstas variables, mayor el valor de índice de cosecha.

- La distancia entre surco y planta influye en la proporción de tamaño de grano pequeño obtenido, a mayor distancia la planta desarrolla mejor, favoreciendo la expresión genotípica de la dimensión de grano grande en cada cultivar de quinua.

Referencias citadas

Morales, J., Quemé, J., Melgar, M. 2009. InfoStat, Manual de usos: Ejemplos de los principales métodos estadísticos utilizados en la industria cañera. Centro Guatelmateco de investigación y capacitación de caña de azúcar. Cengicaña. 45 pp.

Programa COMPASUR. 2013. Trabajos de Investigación del Programa Complejo Quinua Gestión Agrícola 2012 – 2013. Fundación FAUTAPO. 64 pp.
SENAMHI, 2015 – 2016. Link www.senamhi.gob.bo.

Vargas M. Ed. 2013. Congreso Científico de la Quinua (Memorias). La Paz Bolivia, 682 pp.