

## Efectos de la densidad de siembra sobre *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina)

Erazzú, Luis E.<sup>1</sup>; Juan A. González<sup>2\*</sup>; Sebastián E. Buedo<sup>2</sup>; Fernando E. Prado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Famaillá, Tucumán (Argentina) – Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán.

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 251, Tucumán (Argentina).

<sup>3</sup> Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, Tucumán (Argentina).

\* Autor corresponsal: jagonzalez@lillo.org.ar

► **Resumen** — Erazzú, Luis E.; Juan A. González; Sebastián E. Buedo; Fernando E. Prado. 2016. "Efectos de la densidad de siembra en *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle (Tucumán – Argentina)". *Lilloa* 53 (1). El cultivo de la quinoa ha comenzado a extenderse en el Noroeste Argentino (NOA) y en especial en los Valles Calchaquíes (valles de altura ubicados en el Noroeste de Argentina). La variedad más utilizada es CICA, originaria del Perú, que fuera obtenida a partir de otra denominada Amarilla de Maranganí. Sin embargo, no se han encontrado antecedentes que expliquen la preferencia de esta variedad sobre otras. Para contribuir al conocimiento del manejo agronómico de esta variedad se estudió el efecto de la densidad de siembra sobre la morfología y particularmente sobre el rendimiento en granos. Las experiencias se realizaron en una localidad de los Valles Calchaquíes (Amaicha del Valle, Tucumán, Argentina) a 1.995 m sobre el nivel del mar. Los métodos utilizados para la siembra fueron por golpe, realizado manualmente ("CGo", CICA separadas) y a chorri-llo, con maquina sembradora ("CCh", CICA juntas). Con éstos se lograron densidades de plantas diferentes: 4,2 y 27,9 plantas/metro lineal respectivamente. Tanto la altura de las plantas, diámetro de tallo, área foliar específica (AFE), nitrógeno y fósforo foliar y el rendimiento en granos (kg/ha) fue mayor en el primer tratamiento. El análisis de las clases diamétricas de los granos obtenidos reveló que ambos tratamientos producen casi un 65% de granos cuyo diámetro es  $\geq 1,41$  mm. Sin embargo, en el tratamiento "CGo" aumenta la proporción de granos cuyos diámetros son  $\geq 1,68$  mm. Este último dato es importante pues los granos con mayor diámetro tienen mayor aceptación en los mercados. En general, el rendimiento en granos fue de 5.389 kg/ha y 3.049 kg/ha para los tratamientos "CGo" y "CCh", respectivamente. Estos valores de rendimiento en grano se hallan incrementados con respecto a aquellos que se obtienen en las zonas andinas y muy próximas a los que se informan para otras condiciones ambientales, como por ejemplo en Europa.

**Palabras clave:** *Chenopodium*; densidad de siembra; rendimiento; morfología.

► **Abstract** — Erazzú, Luis E.; Juan A. González; Sebastián E. Buedo; Fernando E. Prado. 2016. "Effects of sowing density on *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidence on morphological aspects and grain yield in Var. CICA growing in Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina)". *Lilloa* 53 (1). Quinoa crops surface is increasing in Argentinean Northwest (NOA) and especially in Valles Calchaquíes (high valley located in the Argentinean Northwest). The most utilized variety is CICA, originated from the other peruvian one called Amarilla de Maranganí. There is not antecedent about this preference in Argentinean Northwest. In order to contribute to quinoa agronomical management the effect of sowing density on the morphology and

specially grain yields were studied. Experience was performed in a locality in the Valles Calchaquies (Amaicha del Valle, Tucumán, Argentina) located at 1,995 m asl. One of the utilized methods for planting was the realization of the same by hand ("CICA separated, CGo") and the other one using a planting machine ("CICA together, CCh"). With both method we get a sowing density of 4.2 and 27.9 plants/m. Plant height, stem diameter, specific leaf area (SLA), phosphorus and nitrogen leaf content and grain yields (kg/ha) were increased in "CICA separated, CGo". Grain diameter classes showed a high proportion (65%) of grain with a diameter  $\geq 1,41$  mm in both treatments. But in "CICA separated, CGo" we registered and increase in the proportion of the grain with a diameter  $\geq 1.68$  mm. The last data is very important because market prefers a large grain. In general, grain yield were 5,389 kg/ha and 3,049 kg/ha for "CICA separated, CGo" and "CICA together, CCh" respectively. The last values are greater in relation to those obtained in andean high mountains and very close to those obtained in others environment conditions like in Europe.

**Keywords:** *Chenopodium quinoa*; sowing density; yield; morphology.

## INTRODUCCIÓN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) se está expandiendo en los valles de altura del noroeste argentino (NOA) como un cultivo alternativo para tierras marginales o para aquellas áreas donde otros cultivos tradicionales son más exigentes en laboreos u otros insumos agrícolas. Para el año 2013 se estimó que para la región del Noroeste Argentino la superficie cultivada con quinoa había alcanzado una superficie de aproximadamente 151 ha (Andrade *et al.*, 2014; Bazile y Baudron, 2014). Datos recientes indican para el NOA una superficie de 1.586,5 ha. (Scalise, 2015) aunque en la misma publicación se menciona que este dato podría contener errores de estimación. Sin embargo, para el momento actual, algunos investigadores estiman una superficie de 400 ha (Andrade *et al.*, 2014). Si bien la quinoa era conocida en el Noroeste Argentino (Sotelo, 1583) las primeras experiencias reportadas como cultivo se ubican aproximadamente en los años 1984-1985 donde se intenta multiplicar semillas traídas desde el Cuzco (Perú) pero que fracasan por falta de atención de los productores (Buitrago y Torres, 1999). Posteriormente al ponerse en marcha la Prueba Americana y Europea de quinoa (1996-1998), para evaluar algunos cultivares promisorios, algunas organizaciones y productores del NOA participan de la misma, especialmente en la zona de la Quebrada de Huichaira (Tilcara, provincia de Jujuy, Argentina). En esta prueba se incluyeron 25

cultivares dentro de los cuáles se había incluido a la variedad CICA. Otro intento se realizó en 1997 en el Campo Experimental de Hornillos (Jujuy) con el fin de distribuir semillas a los productores de la zona (Golsberg, *et al.*, 2010). Aún cuando el cultivo de quinoa aumentó en superficie a la fecha no hay manejo adecuado de la especie, ni mucho menos a un manejo agronómico del cultivo. En la actualidad, a través de Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar, Región NOA (IPAF-NOA), se desarrolla el programa ITI (Iniciativa de Transferencia de Innovación) (UCAR, 2015) cuyo objetivo es asistir a las comunidades de pequeños productores de quinoa en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy, para lograr que la misma sea incorporada como un cultivo alternativo bajo un enfoque agroecológico. En este programa se ensayan riegos en distintas etapas fenológicas, siembras con diferentes distancia de surco y distancia entre plantas, con poblaciones nativas de quinoa y otras remanentes de la Prueba Americana y Europea de quinoa, ya mencionada, para llegar al manejo agroecológico de esa especie y a una selección de semillas por parte de los pequeños productores con una metodología participativa.

Los métodos más comunes de siembra, en el pasado y en la actualidad, fueron la siembra a mano y en los últimos años con sembradoras pequeñas (tipo Bisig), traccionadas a mano, dado que se trata de maquinas muy livianas. A su vez en el caso de la siembra a

mano se puede hacer en dos formas: realizando un pequeño orificio sobre el surco y depositando una cantidad variable de semillas (entre 5 y 10), las que luego se tapan con suelo del lugar. También se puede hacer a chorri- llo. En este último caso, las semillas fluyen desde la mano del sembrador directamente hacia el surco donde se ha demarcado una línea de poca profundidad (entre 2 - 3 cm) y luego se tapa las semillas con tierra. Otra práctica muy común en los andes, pero no difundida en el Noroeste Argentino, es la siembra al voleo. Este sistema produce dificultades para el laboreo posterior aunque en algunos casos se pasa una rastra en surcos, eliminado (raleando) las plantas y dejando un surco para el riego y laboreo (Tapia y Fries, 2007).

Los rendimientos promedios obtenidos en cultivos realizados en Catamarca, Salta y Jujuy oscilaron en alrededor de 1,25 Tn/ha (Andrade *et al.*, 2014) aunque no se indica que variedades fueron las utilizadas ni el sistema de cultivo utilizado. En otros casos se han informado rendimientos menores a esta cifra y otros mayores (González *et al.*, 2010) pero en este caso los datos provienen de germoplasma proveniente de Patacamaya (Bolivia) pero cultivados a una altitud de 2.000 m snm. En la actualidad la variedad más difundida y utilizada por los productores en la región del NOA, es la denominada CICA, aunque no existen antecedentes agronómicos o biológicos que justifiquen esta elección o preferencia. Esta variedad fue obtenida en Puno (Perú) a partir de un línea de otra denominada Amarilla de Maranganí (Com. Pers. Dr. Ángel Mujica Sánchez, 2016). Según observaciones propias, realizadas en el sitio de cultivo (Encalilla, Tucumán) CICA es una variedad de porte alto (entre 1,50 a 2,50 m), con ramificaciones únicas o laterales según la densidad y fecha de siembra, con semillas de color amarillento, alta tasa fotosintética ( $>30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y un rendimiento de aproximadamente 2,3 Tn/ha (González *et al.*, 2010). Sin embargo, CICA posee alto contenido de saponinas (aproximadamente 3% en peso) (Com. Pers. Dr. Vicente Gianna, 2015) y un ciclo de vida de aproximadamente 150-160 días, lo que im-

plica un tiempo prolongado en el uso del suelo del lugar, lo que es observado por algunos productores como un tiempo excesivo.

Se debe tener en cuenta que en el caso de quinoa existen poblaciones y variedades que prosperan desde el nivel del mar, caso de las variedades chilenas o algunas peruanas, hasta otras que son de zonas de altura (entre los 2.000 y 4.000 m snm) (Tapia, 2009). Por lo tanto, estudiar la adaptación de los distintos genotipos existentes a las condiciones del NOA así como su manejo agrícola es una necesidad para cubrir huecos de información que aún existen para este nuevo cultivo. Uno de estos huecos es por ejemplo, la densidad de siembra y su relación con el rendimiento en granos. Así, Tapia y Fries (2007) para zonas de Bolivia y Perú, señalan que las quinoas de valle (entre 3.000 y 3.500 m snm) poseen un rango de rendimiento entre 700 y 2.800 kg/ha mientras que para las quinoas de altiplano (entre 3.800 y 4.000 m snm) el mismo se ubica entre los 600 y 2.500 kg/ha. Estos valores se refieren a una densidad de siembra aproximada de 10 plantas/metro lineal y una distancia de surcos de entre 0,40 - 0,60 m. En otras experiencias, realizadas en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina), con la variedad CICA, se informaron valores de aproximadamente 2.300 kg/ha con espacios entre plantas de 0,30 m y surcos cada 0,50 cm (González *et al.*, 2010). En este último caso la densidad de plantas fue de aproximadamente 80.000 plantas/ha. Otros datos, provenientes de cultivo de quinoa en Europa (Jacobsen *et al.*, 1994), realizados en diferentes años, demostraron un rango de rendimiento entre 1.730 y 2.941 kg/ha para una densidad de plantas de 80 y 395 plantas/m<sup>2</sup> y surcos a una distancia de 0,50 m. Esta densidad equivaldría a aproximadamente 27 a 130 plantas/metro lineal.

Sin embargo, para la región del NOA todavía no existen experiencias agronómicas concluyentes que indiquen la mejor densidad de siembra en función de lugares de cultivo (microclimas), entre otras variables para las diferentes variedades que se han venido ensayando. Se conoce a partir de la fisiología

de los cultivos (ver Miltphore y Moorby, 1982) que el rendimiento de una especie cualquiera, es una función que depende del número de plantas por superficie de suelo debido entre otras razones a la competencia por agua, nutrientes y radiación solar (ver Lambers, *et al.*, 2008), entre otras variables. Estas complejas interacciones se manifiestan tanto en la fisiología como en la morfología (externa e interna de la planta o en sus órganos como las hojas o tallos, por ejemplo) e inciden en definitiva en la productividad de una especie o rendimiento de granos por ej. en el caso de las especies cultivadas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es la evaluación de dos métodos de siembra (manual y mecánico con distancias diferentes entre plantas) en una variedad de quinoa muy utilizada en el NOA, que es CICA, sobre algunos parámetros morfológicos externos (altura de planta, diámetro del tallo, área foliar específica y anatomía foliar) y cómo se traduce en el rendimiento de grano para las condiciones edáficas y climáticas de Encalilla (Amaicha del Valle, Tucumán, Argentina). De manera que el estudio que aquí se plantea puede servir de base para la comparación con otras variedades que eventualmente incorporen los agricultores al NOA.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la zona de Encalilla (Amaicha del Valle, Tucumán, Argentina) ubicada a 1.995 m snm, 22°31'S y 65°59'O. El clima de la zona, de acuerdo a la clasificación de Köppen, es de tipo desértico (BWkaw). El régimen anual de precipitación promedio es 220 mm con más del 70% de ese valor (aproximadamente 150 mm) durante el período septiembre-marzo. Las temperaturas máximas y mínimas (promedios diarios) registradas durante este último período son de 30,4 y 11,2 °C respectivamente, mientras que la HR registrada para el mismo período fue de 44,2% y 54,2%. La velocidad del viento osciló entre 10 y 25 km/h y la radiación fotosintéticamente activa (RFA), a medio día, en condiciones de días soleados osciló entre 1.403 y 1.993

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . La duración del día fue de 9,8 hs para comienzos de primavera y 11,3 hs durante el verano. La siembra de los granos (var. CICA) se realizó en bloques al azar con 4 repeticiones el 15 de noviembre de 2013. Cada parcela tuvo un largo de 5 metros y la distancia entre surcos fue de 0,50 m. Se pusieron a prueba dos métodos de siembra, los que posteriormente fueron comparados, uno de ellos fue mediante la siembra manual denominada por golpe («CGo», CICA separadas), para el segundo método llamado siembra a chorrillo, se utilizó una maquina sembradora tipo Bisig («CCh», CICA juntas). En el primer caso se sembró cada 30 cm aproximadamente un número de semillas que osciló entre 5-10. Para la siembra a chorrillo se graduó la salida de la maquina sembradora para dejar caer un chorro de semillas con lo que se logra una densidad de plantas, por superficie o por metro lineal, variable (ver Resultados). En ambos casos la profundidad de siembra varió entre 2-3 cm. Un día antes de la siembra se procedió al riego del terreno para favorecer la recepción de las semillas. El riego se mantuvo aproximadamente cada semana debido a las características climáticas de la zona. Los suelos de la zona han sido clasificados como arenoso arcilloso con un pH alcalino (8,4) y una conductividad eléctrica de 2,0 dS m<sup>-1</sup>. Sin embargo, como se trata de una zona con suelos que difieren tanto en su profundidad como en su distribución espacial, se realizó un análisis puntual de fertilidad y salinidad y a distintas profundidades (ver Resultados). Este último análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos del INTA – Famaillá con técnicas estandarizadas y de uso cotidiano en la institución. Para la estimación de las variables evaluadas se procedió a la determinación de las mismas en el sentido de las diagonales de cada parcela, evitando las filas externas por el efecto de borde. El número de plantas logradas por metro lineal se determinó por conteo directo. Para este conteo se realizaron 20 estimaciones en los surcos centrales de las parcelas de cada tratamiento. No se tomaron los surcos laterales para evitar efectos de borde.

La altura de las plantas y diámetro del tallo principal se midió con una cinta graduada en centímetros y calibre digital, graduado en mm, respectivamente. Para la determinación del área foliar específica (AFE) se siguió el procedimiento clásico que consiste en tomar con un sacabocado, de diámetro conocido, 4 muestras de una misma lámina foliar y de una misma planta. Este procedimiento se repite en 10 plantas distintas identificando cada una por separado. Posteriormente en el laboratorio las muestras se secan en estufa a 84°C hasta peso constante. La relación entre el peso seco de las muestras y su área respectiva es el AFE expresada como  $\text{cm}^2/\text{g}$  de peso seco. La inversa del AFE, denominada masa foliar específica (MFE), expresa la cantidad de carbono que una especie debe utilizar para lograr un centímetro cuadrado de hoja, o superficie equivalente. El AFE es un parámetro muy sensible a condiciones de estrés o de tratamientos diferentes (Lambers *et al.* 1998) por lo que se lo utiliza para evaluaciones rápidas en experiencias de campo o laboratorio. Es además una variable con una fuerte correlación tanto con parámetros estructurales (por ej. espesor de la hoja) (González *et al.*, 2014) como con aquellos funcionales como por ej. asimilación fotosintética (González *et al.*, 2014) o contenido de nitrógeno foliar) (Garnier *et al.*, 1997). Para la estimación porcentual de las distintas clases diamétricas de los granos obtenidos en los dos tratamientos, se procedió a colocar los mismos en un juego de tamices Marca Zonytest cuyos diámetros de mallas permitió separar los granos en cuatro clases:  $\geq 1,68$  mm,  $\geq 1,41$  mm,  $\geq 1,18$  mm y  $\geq 1,0$  mm. El estudio incluyó un estu-

dio de contenido de nitrógeno y fósforo foliar en los dos tratamientos mencionados. También estos análisis se realizaron en el laboratorio del INTA-Famaillá con técnicas estandarizadas y de uso corriente en este tipo de análisis. El análisis estadístico incluyó la aplicación de la prueba F (Fisher) para comprobar la homogeneidad de las varianzas. Luego se aplicó un test «t» para conocer si había o no diferencias significativas con  $p \leq 0,05$  ó  $p \leq 0,01$  entre los tratamientos.

## RESULTADOS

a) *Análisis de suelos.*— En la Tabla 1 y 2 se resumen los datos de fertilidad y salinidad para los suelos donde se desarrolló el cultivo. Las muestras, en las profundidades analizadas, poseen una textura franco-arenosa. El pH es moderadamente alcalino en la superficie y fuertemente alcalino en las profundidades siguientes. Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total son muy bajos en todas las profundidades. El potasio intercambiable tiene niveles moderadamente buenos en todas las profundidades mientras que la disponibilidad de fósforo extractable es muy baja en las tres profundidades. Por otra parte, el análisis de salinidad (en base a los datos de CE) indica que los niveles de sales totales son moderadamente altos en la superficie y bajas en las dos profundidades siguientes. El RAS (relación de absorción de sodio) es moderadamente bajo en las tres profundidades. Tanto los niveles de cloruros como los de bicarbonatos son bajos en todo el perfil. El suelo se caracteriza por tener capacidad de intercambio catiónico y de retención de agua moderadamente baja; mien-

Tabla 1. Análisis de fertilidad.

Profundidad (cm)	pH	M.O. (%)	N (%)	K Meq/100 g	P (ppm)	Textura
0 – 25	8,3	0,8	0,04	0,8	2	Fr. Ar.
25 – 45	8,6	0,7	0,03	0,7	2	Fr. Ar.
45 – 65	9,1	0,6	0,03	1,0	1	Fr. Ar.

M.O.: contenido de materia orgánica; N: nitrógeno total; Fr. Ar.: Franco arenoso.

Tabla 2. Análisis de salinidad en suelos.

Profundidad (cm)	C.E.	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	RAS
	dS/m	Meq/l						
0 - 25	2,0	11,5	1,2	5,8	3,1	2,2	3,6	5,45
25 - 45	0,63	4,1	0,4	1,3	0,3	2,0	1,6	4,58
45 - 65	0,82	6,5	0,4	0,8	0,7	3,9	2,4	7,27

C.E.: conductividad eléctrica; RAS: relación de absorción de sodio.

tras que la permeabilidad es moderadamente buena y la velocidad de infiltración del agua es moderadamente lenta. El pH, produce algunas limitaciones en la movilidad de los nutrientes que estuvieran presentes, especialmente los micronutrientes. La fertilidad del suelo representado por estas muestras es baja. No hay mayores limitaciones desde el punto de vista de salinidad, en todas las profundidades las sales totales están dentro del rango en el que los efectos de las sales son despreciables sobre los cultivos. El valor más alto en la capa superficial puede ser consecuencia de la calidad del agua de riego que se aplica. No hay peligro de que el sodio intercambiable en el suelo alcance niveles altos, porque el RAS es bajo.

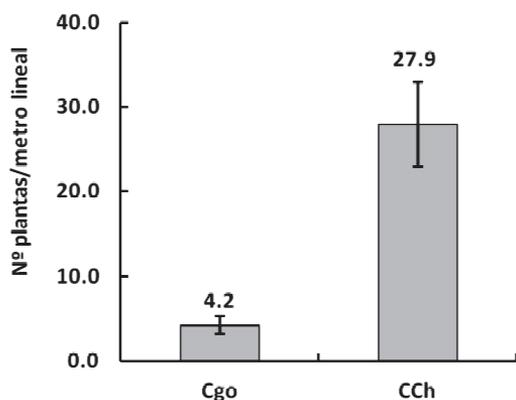


Fig. 1. *Chenopodium quinoa*. Var. CICA. Número de plantas logradas por metro lineal utilizando dos métodos de siembra. El valor corresponde a la media de 15 estimaciones y la barra representa la desviación standard. La diferencia entre ambas es significativa ( $p \leq 0,01$ ).

b) *Número de plantas logradas por metro lineal.*— En el tratamiento «CICA separadas, CGo» se lograron 4,2 plantas/m lineal mientras que en «CICA juntas, CCh» fue de 27,9 plantas/m lineal. La diferencia es altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) (Fig. 1).

c) *Altura promedio de las plantas y diámetro del tallo principal.*— También la altura promedio de las plantas difiere significativamente en ambos tratamientos ( $p \leq 0,01$ ) registrándose una mayor altura en «CICA separadas, CGo» (2,2 m) que en «CICA juntas, CCh» (1,7 m). También el diámetro del tallo, en el primer tratamiento, fue mayor (2,2 cm) que en el segundo (0,9 cm). La diferencia es este último caso es del 60% y significativa ( $p \leq 0,01$ ) (Fig. 2).

d) *Área foliar específica (AFE).*— El AFE difiere significativamente en ambos tratamientos (Fig. 3). De esto resulta que el costo en carbono para lograr 1 cm<sup>2</sup> de hoja (masa foliar específica, MFE) es 6,45 mg PS/cm<sup>2</sup> (DS = 0,45) y 5,30 mg PS/cm<sup>2</sup> (DS = 0,45) para CGo y CCh, respectivamente. Estas diferencias son altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ). De manera que la inversión en carbono (MFE) es menor en el tratamiento «CICA juntas, CCh». Este último dato tiene correlación con el espesor de la hoja. En efecto, en «CICA separadas, CGo» el espesor de la hoja es mayor (332  $\mu$ m promedio) con respecto a la logradas por «CICA juntas, CCh» (273  $\mu$ m promedio) (Fig. 4).

e) *Espesor de tejidos foliares, densidad y tamaño estomático.*— En la Fig. 4 se mues-

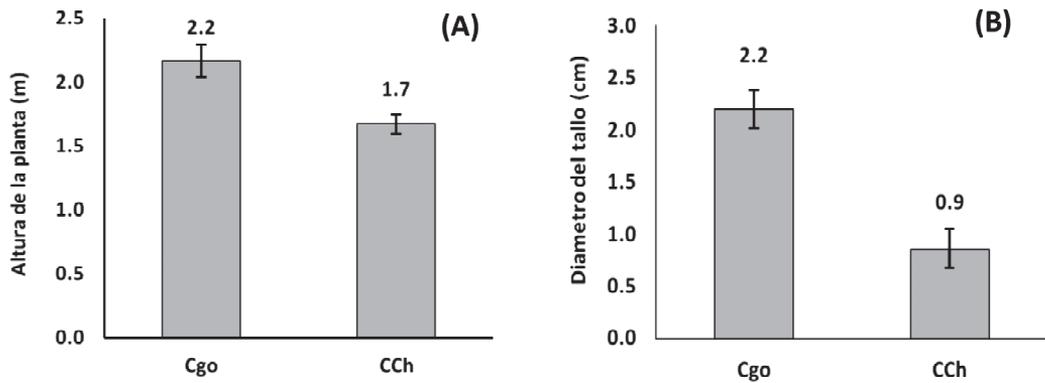


Fig. 2. *Chenopodium quinoa*. Var. CICA. Altura promedio de las plantas (A) y diámetro del tallo (B). Los valores corresponden a la media de 15 estimaciones y la barra representa la desviación standard.

tra el detalle del corte transversal de hojas en ambos tratamientos. Como ya se mencionó el espesor de hojas en «CICA separadas, CGo» es de 332  $\mu\text{m}$  promedio contra 273  $\mu\text{m}$  promedio en «CICA juntas, CCh». Es evidente que el espesor de la lámina foliar es afectada por la densidad de siembra utilizada. Esto coincide con las mediciones de AFE ya analizada. En ambos tratamientos la empalizada presenta varios estratos de células alargadas (tres o más adaxiales) y dos o tres estratos abaxiales con células más cortas.

También la densidad estomática (DE), tamaño estomático e índice estomático (IE) son afectados por la densidad de siembra

utilizada (Tabla 3). CICA es una variedad amfiestomática, observación que coincide con las observaciones de González *et al.*, (2014). En este caso el valor de la DE disminuye cuando las plantas son cultivadas en alta densidad de siembra. La misma disminución se ha detectado en el IE pero no en el tamaño de los estomas. En este último caso al disminuir la DE aumenta el tamaño de los estomas en una clara tendencia de compensación como ya fuera detectado en otras variedades de quinoa (González *et al.*, 2014).

f) *Análisis foliar.*— El análisis químico de contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P)

Tabla 3. *Chenopodium quinoa*. Var. CICA. Densidad estomática (DE), Índice estomático (IE) y tamaño estomático bajo distintas densidades de siembra.

	DE (estomas/ $\text{mm}^2$ )		Índice Estomático		Tamaño estomático ( $\mu\text{m}$ )			
	EI	ES	EI	ES	LI	AI	LS	AS
“CICA Separadas, CGo”	232,9 (41,4)**	161,9 (26,2)**	20,4 (0,8)*	17,2 (1,5) ns	21,4 (1,5)**	17,3 (0,9)**	21,2 (1,0) ns	16,5 (0,8)**
“CICA Juntas, CCh”	116,7 (16,3)**	98,1 (10,8)**	18,1 (1,7)*	16,5 (1,0) ns	25,5 (1,0)**	21,6 (1,5)**	24,3 (1,7) ns	19,2 (0,6)**

DE: densidad estomática, EI: epidermis inferior; ES: epidermis superior; LI: largo estomático epidermis inferior; AI: ancho estomático epidermis inferior; LS: largo estomático epidermis superior; AS: ancho estomático epidermis superior. Los valores consignados son el promedio de 4 plantas distintas con 10 mediciones por planta. El valor entre paréntesis corresponde a la desviación standard. (\*) Indica diferencias con  $p \leq 0,05$  y (\*\*) con  $p \leq 0,01$ .

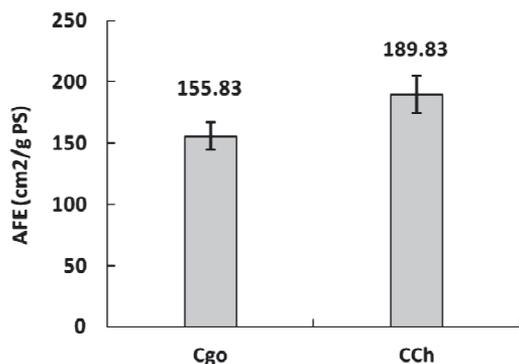


Fig. 3. *Chenopodium quinoa*. Var. CICA. Área foliar específica (AFE). El valor corresponde la media de 10 plantas distintas y la barra representa la desviación standard. Entre ambos valores existe una diferencia significativa ( $p \leq 0,01$ ).

foliar, expresado en forma porcentual o como milimoles del elemento por metro cuadrado de superficie foliar, reveló que los mismos son mayores en el tratamiento «CICA separadas, CGo» (Tabla 4). Estas diferencias indicarían diferencias a nivel funcional. En efecto, los datos de nitrógeno foliar tienen una relación estrecha con el AFE y con la tasa de asimilación fotosintética de las especies (Evans, 1989). En el caso de «CICA separadas, CGo» mientras el AFE es menor que en «CICA juntas, CCh» el contenido de nitró-

geno foliar es mayor (Tabla 3) lo mismo que el espesor de la lámina foliar y también su tasa fotosintética (32,5 contra 24,1  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , datos aún no publicados). Estas correlaciones han sido observadas en muchas especies cultivadas (Evans, 1989) y corroboran nuestros resultados (González et al., 2010).

g) *Rendimiento de grano y clases diamétricas.*— El rendimiento en el tratamiento «CICA separadas, CGo» fue de 44,8 (DS = 18,4) g/planta contra 5,4 (DS = 2,4) g/planta para «CICA juntas, CCh» (Fig. 5).

Resulta interesante desde el punto de vista comercial, que en el tratamiento «CICA separadas, CGo» se logró un 23% de semillas que poseen un diámetro de  $\geq 1,68$  mm valor que disminuye a casi 12% en el otro tratamiento («CICA juntas, CCh»). La clase diamétrica que se produce en mayor porcentaje (entre 62,3% y 68%), sin diferencia estadística entre ambos tratamientos, es aquella que corresponde a granos cuyo diámetro es  $\geq 1,41$  mm (Fig. 6). El cálculo de rendimiento de granos en kg/ha resultó con un valor de  $5.389 \pm 2.212$  en «CICA separadas, CGo» contra  $3.049 \pm 1.370$  kg/ha en «CICA juntas, CCh». Entre ambas existe una diferencia de 1,8 veces.

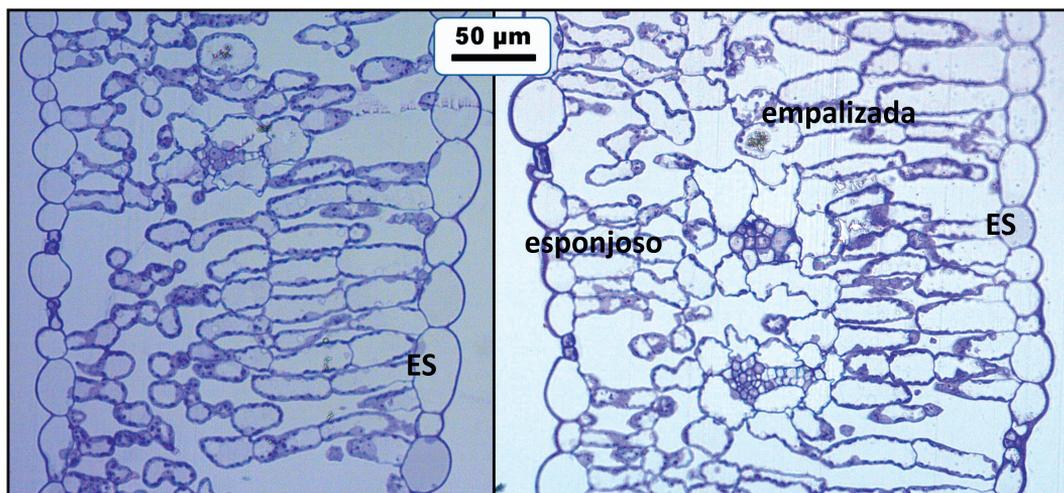


Fig. 4. *Chenopodium quinoa*. Var. CICA. Transcorte de hoja. Izq: «CICA juntas, CCh» y Derecha: «CICA separadas, CGo». La barra representa la escala equivalente a 50 micrones. ES: epidermis superior.

Tabla 4. *Chenopodium quinoa*. Contenido de nitrógeno y fósforo foliar.

	N <sub>2</sub> (%)	mmol N <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	P (%)	mmol P/m <sup>2</sup>
"CICA separadas, CGo"	4,5	103.1	0,19	3.9
"CICA juntas, CCh"	4,2	79.0	0.17	2.9

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones climáticas y edáficas de Encalilla los ensayos con quinoa (var. CICA) realizados con diferentes densidades de siembra, demostraron que tienen una fuerte incidencia tanto a nivel morfológico interno y externo como en el rendimiento de granos. En efecto, debido a situaciones de competencia intraespecífica, el tratamiento «CICA separadas, CGo» rinde 1,8 veces más granos que «CICA juntas, CCh» (5,4 contra 3,05 Tn/ha respectivamente). Dado que el tipo de suelo donde se realizó el cultivo fue el mismo para ambos tipos de tratamiento, igual que el riego y el manejo del cultivo (desmalezado y aporque básicamente ya que no hubo fertilización de ningún tipo) y las condiciones micrometeorológicas son las mismas, se concluye que los efectos observados se deben a la densidad de plantas ensayadas, lo que crea una competencia diferente por nutrientes del suelo, agua y radiación solar. El rendimiento en granos obtenidos en el tratamiento «CICA separadas, CGo» (5.389 kg/ha) se ubica por encima de los valores informados en la bibliografía para otras condiciones geográficas. El valor encontrado para «CICA juntas, CCh» (3.049 kg/ha) si bien es también alto en comparación con valores informados para las zonas andinas (300 a 1.300 kg/ha), resulta próximo a los valores informados para otras condiciones climáticas como por ej. el sur de Italia (Pulvento *et al.*, 2010) y superior para ensayos realizados con cultivares andinos y de nivel de mar, en zonas costeras de Chile, que mostraron un rendimiento entre 754 y 2.032 kg/ha (Garrido *et al.*, 2013).

Los antecedentes para esta misma especie, en otras variedades, muestran también una variabilidad alta en los rendimientos.

Datos de la evaluación de germoplasma originarios de zonas del altiplano, valles secos y valles húmedos del Noroeste de Argentina mostraron que el rendimiento (expresado en peso de granos/m<sup>2</sup>) fue de 71,2; 142, 6 y 204,6 (equivalentes a 712, 1.420, 600 y 2.040,6 kg/ha) respectivamente (Curti, 2009). Sin embargo, los datos de la cita se refieren a sitios de cultivos localizados entre 2.900 y 3.600 m snm. Por otro lado, Jacobsen *et al.* (1994) encontró que la relación entre el rendimiento granario y la densidad de plantas podía ser mejor explicado por medio de una relación cuadrática. Esto implica que existe un máximo en el rendimiento a partir del cual disminuye en función de una disminución, o un aumento, en la densidad de plantas. Estos mismos autores informaron que una densidad óptima, para las condiciones de Dinamarca, fue de 327 plantas/m<sup>2</sup> con lo que lograron un rendimiento aproximado de 2.500 kg/ha. Asimismo Pulvento *et al.*, (2010) encontraron en cultivos experimentales, con dos variedades chilenas,

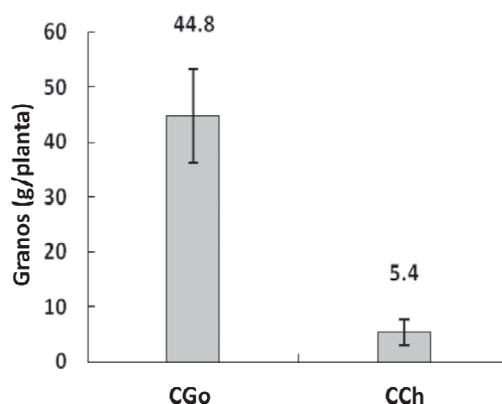


Fig. 5. *Chenopodium quinoa*, var. *cica*. Rendimiento granario (gramos/planta). El valor corresponde la media de veinte mediciones al azar y la barra representa la desviación standard.

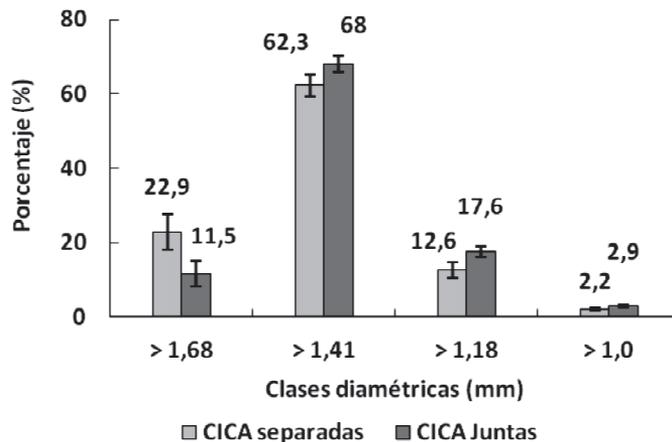


Fig. 6. *Chenopodium quinoa*. Rendimiento porcentual de las distintas clases diamétricas de los granos obtenidos en los dos tratamientos. Cada columna representa la media de diez mediciones al azar y la barra representa la desviación standard.

realizados en el sur de Italia, un rendimiento aproximado entre 1.900 y 3.280 kg/ha (var. KV) y 3.000 y 3.420 kg/ha (Var. Baer Regalona) con una densidad aproximada de 200.000 pl/ha. Otros datos (González *et al.*, 2011) para la variedad CICA, cultivada en Encalilla (Tucumán, Argentina), en dos períodos (2007-2008 y 2008-2009) muestran valores de 2.344 kg/ha.

Los datos de rendimiento de la variedad que se ensayó reflejan una alta variabilidad. Estos resultados también se han observado tanto en variedades andinas como de nivel de mar (ver Garrido, 2013) como en otras variedades cultivadas en otras situaciones geográficas, como por ej. Dinamarca e Italia. Sin duda, esto implica que el material que se está utilizando, aún necesita de estabilización genética o de una mejor selección y hasta de mejores prácticas agrícolas. En nuestras experiencias se demuestra la relación estrecha existente entre la densidad de siembra, la respuesta morfológica y la productividad (rendimiento en granos en este caso). La práctica de siembra a chorrillo (con máquina) es sin duda de gran ayuda para los agricultores pequeños, ya que ahorra tiempo y mano de obra, pero en términos de costos la misma resulta onerosa debido a la alta cantidad de semillas que se requiere (aproximadamente 7-8 kg/ha). También resulta una prác-

tica que desperdicia plantas ya que es necesario el raleo una vez que las plantas alcanzan el desarrollo vegetativo previo a la floración. De esto surge la necesidad de perfeccionar sistemas tecnológicos sencillos, que ayuden a la siembra por golpe, logrando desde un comienzo una densidad no tan alta como la que se logra en el sistema a chorrillo. Finalmente, teniendo en cuenta el mayor contenido de nitrógeno y fósforo foliar y su relación con el mayor rendimiento de granos en la siembra por golpe, se demuestra la interdependencia entre los niveles de contenido mineral y los procesos fisiológicos que deberán ser tenidos en cuenta en la planificación y manejo de este cultivo.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Miguel Lillo por el apoyo en equipos de campo, personal y laboratorios. Al personal del Campo Demostrativo de Encalilla (Amaicha del Valle, Tucumán) en las personas de Tec. Isabel Martínez y Sr. Martín Quiroga. Los análisis de suelos de Encalilla y de tejido foliar fueron realizados por la Ing. María Correa (INTA-Famaillá).

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade A.J., Babot P., Bertero H. D., Costa Tártara S. M., Curti R. N., Manifesto M. M. 2014. Argentina. Cap. 5.5. In: Bazile, D. et al (Editores) "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013". FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia). pp. 504-518.
- Bazile D., Baudron F. 2014. Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua respecto a su alta biodiversidad. Capítulo 1.4. In: Bazile, D. et al (Editores) "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013". FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia); pp. 49-64.
- Buitrago L. G., Torres C. G. 1999. Situación de la Quinua en la Argentina. Memorias. Primer Taller Internacional en Quinua: recursos genéticos y sistemas de producción. Tema 4: Potencial de la quinua en diferentes países. En: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/home14.htm>.
- Curti R. N. 2009. Caracterización y evaluación de germoplasma nativo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Noroeste Argentino en base a atributos morfológicos y agronómicos. Tesis Doctoral. Universidad de Bs As. 169 pags.
- Evans J. R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Garnier E., Cordonnier P., Guillermin J. L., Sonié L. 1997. Specific leaf area and leaf nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in Mediterranean old-fields. *Oecologia* 111: 490-498.
- Garrido M., Silva P., Silva H., Muñoz R., Baginsky C., Acevedo E. 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *IDESIA*: 31 (69-76).
- Golsberg C., Orcasitas E., Chauque J. G., Daza R. 2010. La quinua en la Región del Noroeste Argentino. Reconstrucción del conocimiento del cultivo y revalorización cultural y alimenticia. Resumen III Congreso Mundial de la quinua. Bolivia. 170 pág.
- González J. A., Bruno M., Valoy M., Prado F. E. 2010. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 81-93.
- González J. A., Konishi Y., Bruno M., Valoy M., Prado F. E. 2011. 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* 92: 1222-1229.
- González J. A., Ponessa G. I., Buedo S. E., Mercado M. I., Prado F. E., 2014. Asimilación fotosintética máxima en variedades de quinua (*Chenopodium quinoa*) de diferentes orígenes geográficos y su relación con la morfología foliar. *Lilloa* 51 (2): 177-193.
- Jacobsen S. E, Jørgensen I., Stolen O. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agriculture Science* 122: 47-52.
- Lambers H., Chapin F. S., Pons T. L. 1998. Plant physiological ecology, Springer-Verlag, New York, 540 p.
- Miltphore F. L., Moorby J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Edit. Hemisferio Sur S.A. 259 págs.
- Pulvento C., Riccardi M., Lavini A., D'Andrea R., Lafelice G., Marconi E. 2010. Field Trial Evaluation of Two *Chenopodium quinoa* Genotypes Grown Under Rain – Fed Conditions in a Typical Mediterranean Environment in South Italy. *Journal of Agronomy & Crop Science* 196 (6): 407-411.
- Scalise J. 2015. Caracterización y diagnóstico de la cadena de valor de la quinua en Argentina. Tendencias, diagnósticos y prospecciones. Unidad para el Cambio rural (UCAR) – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. 105 pp.
- Sotelo P. En: Crónicas del Tucumán. Siglo XVI. Comechingonia, Argentina, 1987. In: Tapia M. 2009 La quinua. Historia, distribución geográfica actual, producción y usos. *Revista Ambiente* 99: 104-119.
- Tapia M. E., Fries A. M. 2007. Guía de los cultivos andinos. FAO y ANPE Lima. 209 pags.
- Tapia M. 2009 La quinua. Historia, distribución geográfica actual, producción y usos. *Revista Ambiente* 99: 104-119.
- UCAR (Unidad para el Cambio Rural). 2015. Innovación Tecnológica y Competitividad. Experiencias de ITI en el sector agroindustrial. Pags. 65. Bs As.