

# **Evaluación de tecnologías de manejo agronómico del cultivo de cebolla con estudiantes de pregrado de Ciencias Agronómicas**

Juan Herbas

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - Universidad Mayor de San Simón

*E mail:* juan\_herbas@yahoo.com

**Resumen.** La producción de cultivos alimenticios como maíz, papa, trigo, haba, arveja, cebolla y otras hortalizas, es una actividad de gran importancia en la zona de los valles de Cochabamba, Chuquisaca y valles mesotérmicos de Santa Cruz. A pesar de los volúmenes importantes de producción, las estadísticas de la FAO (2013) reportan rendimientos bajos para las hortalizas mencionadas. El presente estudio pretende evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo en combinación con frecuencias de riego y niveles de humedad aprovechable en el suelo en variedades criollas de cebolla. Los experimentos fueron establecidos en predios de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. En el primer ensayo se propuso evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo combinado con tres frecuencias de riego; en el segundo, se propuso evaluar el efecto de tres frecuencias de riego y tres niveles de humedad aprovechable en el suelo. Los resultados muestran que la fertilización y la frecuencia de riego afectaron significativamente el rendimiento de cebolla verde, el rendimiento más elevado (64.04 t/ha) reportó la parcela fertilizada con 50-100-50 y regada cada 7 días. Por otro lado, en el estudio de frecuencias de riego y niveles de humedad aprovechable se encontró diferencias altamente significativas para las frecuencias de riego, los niveles de humedad en el suelo y su interacción. En el segundo experimento, el mayor rendimiento (54.16 t/ha) se observó en la parcela regada cada 7 días con el 100% de humedad aprovechable en el suelo. Los estudios han demostrado que la fertilización y el riego incrementan significativamente el rendimiento de la cebolla.

**Palabras clave:** Fertilización química; Riego; Humedad en el suelo

**Summary: Evaluation of agronomic management technologies in onion cultivation with undergraduate students of Agronomic School.** The production of food crops such as corn, potatoes, wheat, beans, peas, onions and other vegetables is an activity of great importance in the area of the valleys of Cochabamba, Chuquisaca and mesothermal valleys of Santa Cruz. Despite important production volumes, FAO statistics (2013) report low yields for the vegetables mentioned. The present study aims to evaluate the effect of fertilization with nitrogen and phosphorus in combination with irrigation frequencies and soil moisture levels available in onion landraces. The experiments were established in premises of the Faculty of Agricultural Sciences and Livestock. In the first trial it was proposed to evaluate the effect of fertilization with nitrogen and phosphorus combined with three irrigation frequencies; in the second, it was proposed to evaluate the effect of three irrigation frequencies and three levels of usable humidity in the soil. The results show that the fertilization and the frequency of irrigation significantly affected the yield of green onion, the highest yield (64.04 t/ha) reported the plot fertilized with 50-100-50 and watered every 7 days. On the other hand, in the study of irrigation frequencies and usable humidity levels, highly significant differences were found for irrigation frequencies, soil

moisture levels and their interaction. In the second experiment, the highest yield (54.16 t/ha) was observed in the plot irrigated every 7 days with 100% of usable humidity in the soil. Studies have shown that fertilization and irrigation significantly increase onion yield.

**Keywords:** Chemical fertilization; Irrigation, Soil available water

## Introducción

La agricultura de subsistencia practicada en la región occidental del país, se caracteriza por sus sistemas adaptados a las condiciones medioambientales y climatológicas adversas, donde la tierra es labrada con tracción animal y el uso de la maquinaria agrícola se restringe a la preparación de suelos, donde solamente el 8% de la superficie cultivada, dispone de riego.

Estos sistemas se caracterizan por el uso de semilla de mala calidad, con períodos de siembra y cosecha fijos y mano de obra familiar y trabajadores eventuales.

En contraste, la agricultura comercial, denominada también empresarial o moderna, nace de la expansión de la frontera agrícola en áreas no tradicionales, principalmente en la región tropical de Santa Cruz, Beni y Tarija (Chaco), en la que se encuentran asentados medianos y grandes empresarios agrícolas, cuyo desarrollo está determinado por las variables del mercado interno y de exportación; este sistema de agricultura comercial se caracteriza por el empleo de mano de obra asalariada y calificada, producción mecanizada, cultivos especializados y utilización de tecnologías de agricultura de precisión.

La superficie cultivada en ambos sistemas agrícolas supera los dos millones de hectáreas (FAO 2013).

A pesar de los volúmenes importantes de producción y comercialización, las esta-

dísticas de la FAO (2013), reportan rendimientos bajos para los principales cultivos, por ejemplo:

⇒ Papa:	5.75 t/ha
⇒ Maíz:	2.50 t/ha
⇒ Trigo:	1.01 t/ha
⇒ Cebolla:	25.5 t/ha

estos bajos rendimientos son atribuibles a factores climáticos adversos, como sequías y temperaturas extremas y un deficiente manejo agronómico (preparación del suelo, épocas de siembra y cultivo; densidad y profundidad de siembra), la utilización de variedades de bajo potencial genético, deficiente fertilización, estrés hídrico, deficiente manejo de malezas, plagas y enfermedades y un desconocimiento de los requerimientos de manejo del cultivo en sus diferentes estadios fisiológicos.

Estos hechos, junto a la degradación de suelos y los efectos negativos del cambio climático, están profundizando aún más la crisis de producción de alimentos, reflejada en bajos índices de producción y productividad, resaltando la importancia del conocimiento y manejo adecuado de factores relacionados con el crecimiento y producción, para lograr un buen desarrollo y elevados rendimientos de los cultivos.

La agricultura bajo riego en el Mundo, consume aproximadamente el 70% del agua fresca (Han 2013 y Hospido *et al.* 2012) y las cerca de 260 millones hectá-

reas de suelo bajo riego, solamente proporcionan el 40% de la oferta global de alimentos para la humanidad.

Según Long *et al.* (2015), para satisfacer el 85% del incremento en la demanda de alimentos para el año 2050, será necesario expandir la frontera e intensificar la producción agrícola mediante la utilización de tecnologías generadas por las instituciones de investigación y los centros de enseñanza superior.

## Revisión bibliográfica

### *Fertilización química*

Entre las prácticas de manejo agronómico, la fertilización química es esencial para lograr buenos rendimientos en cualquier cultivo. Las variaciones en el nivel de nitrógeno en los suelos, afectan el crecimiento y desarrollo en las plantas, la deficiencia de éste elemento afecta a los estadios vegetativos y reproductivos. Los efectos positivos de la disponibilidad de nitrógeno sobre el rendimiento en grano de los cultivos, pueden analizarse a través de sus componentes fisiológicos, como la interceptación de la radiación solar, la eficiencia de uso de la radiación y la partición de la materia seca hacia los órganos reproductivos. Un déficit y/o exceso de nitrógeno puede afectar la partición de la misma hacia los órganos reproductivos y/o vegetativos (Uhart y Andrade 1995).

El nitrógeno es el elemento más limitante de la producción agrícola a nivel mundial y para lograr un rendimiento óptimo de cultivos, se requiere aplicar fertilizantes nitrogenados a la mayor parte de cultivos no leguminosos; sin embargo, existe una preocupación creciente sobre los efectos negativos en el medioambiente, de la

aplicación excesiva y la fertilización no balanceada. Por ejemplo, el sobre uso de fertilizante nitrogenado, reduce la eficiencia de uso de nitrógeno (He *et al.* 2009; Ju *et al.* 2009) resultando en un aumento de la acidificación del suelo y eutrofización acuática y un incremento en la emisión gaseosa de óxido nítrico y amoníaco (Ju *et al.* 2009). Por otra parte, el exceso de nitrógeno, causa un costo anual de 70 a 320 billones en Europa (Sutton *et al.* 2011).

Una revisión de los resultados de investigación a largo plazo (1960 al 2000), con fertilizantes en el cinturón del maíz de América del Norte (Stewart *et al.* 2005), reporta que el 57% del incremento en el rendimiento podría atribuirse a la aplicación de fertilizantes (N, P, K y cal). Para optimizar la productividad de un cultivo, es necesario aplicar de manera balanceada los fertilizantes, considerando los requerimientos fisiológicos de absorción y partición de nutrientes en los diferentes estadios de desarrollo del cultivo (Setiyono *et al.* 2010). Por ejemplo, un manejo efectivo de fertilizante fosfatado es crítico, no solo por razones económicas sino también por razones medioambientales. La acumulación de P por encima del nivel de extracción del cultivo incrementa el riesgo de contaminación por escurrimiento y lixiviación y la subsiguiente contaminación de acuíferos, que podría ser dañino para los ecosistemas acuáticos (Sims *et al.* 1995). Consecuentemente para una producción agrícola sostenible, es esencial definir con precisión las recomendaciones de fertilización.

Para estimar la cantidad de nutrientes disponibles para los cultivos en crecimiento, se han desarrollado métodos de análisis de suelo, algunos de los cuales han correlacionado muy bien el crecimiento en condiciones controladas y en

campo (Simard *et al.* 1991; Tran *et al.* 1992); otros reportes han indicado que el análisis de suelo es un predictor pobre de los requerimientos nutricionales de los cultivos en condiciones de campo. Los métodos de diagnóstico, basados en el contenido de nutrientes en el tejido vegetal, también pueden ser utilizados como una alternativa y un complemento al análisis del suelo.

### ***Estrés hídrico***

El estrés hídrico causa pérdidas masivas en el rendimiento de los cultivos, pero los mecanismos fisiológicos, responsables de las pérdidas del rendimiento, no están muy bien comprendidos. El déficit hídrico en las plantas provoca una serie de respuestas morfológicas, fisiológicas y fenológicas (Dreesmann *et al.* 1994; Attipalli *et al.* 2004). La pérdida de agua por el dosel vegetal es algo inevitable, ya que esto forma parte del proceso natural de transpiración de las plantas como mecanismo de enfriamiento; por otra parte, la asimilación de CO<sub>2</sub>, a través de los estomas, origina una pérdida natural de agua para mantener un ritmo de crecimiento; por ejemplo las plantas C<sub>3</sub> pierden un kilo de agua por cada 1 a 3 g de CO<sub>2</sub> fijado, las plantas C<sub>4</sub> ganan de 2 a 5 g de CO<sub>2</sub> por kilo de agua transpirada y las plantas CAM fijan de 10 g a 40 g de CO<sub>2</sub> por kilo de agua transpirada (Benavides 2002).

Durante el estrés hídrico, en los tejidos de las plantas, se genera una acumulación activa de solutos como respuesta de sobrevivencia (Attipalli *et al.* 2004). Uno de los principales solutos registrados durante este estrés es la prolina, cuya función ha sido asociada a sostener la turgencia de los tejidos para mantener la función celular (Ramanjulu y Sudhakar 2000). Se ha sugerido que la acumulación

de prolina en hojas estresadas por sequía, actúa como agente osmótico durante el estrés, protegiendo a la planta contra la desecación (Harsh 2003) y actuando como almacén de nitrógeno que será utilizado durante la rehidratación (Stewart y Hanson 1980; Ramanjulu y Sudhakar 2000).

Se ha observado que el aumento de la concentración de prolina en maíz, se lleva a cabo en gran medida en la raíz primaria, sobre todo cuando crece en substratos con bajos potenciales hídricos, incrementando su elongación y favoreciendo una mayor exploración (Petcu y Terbea 1996; Bajji *et al.* 2000); por ello, altas concentraciones de prolina en plantas bajo estrés hídrico, han sido consideradas como un criterio de selección de materiales tolerantes a la sequía (Ober y Sharp 1994; Verslues y Sharp 1999).

### ***Secado parcial de raíces***

El secado parcial de raíces es una técnica de riego deficitario, que consiste en someter una parte del sistema radicular a déficit hídrico, mientras la otra se mantiene irrigada. La práctica de aplicar agua de riego, por debajo del nivel de evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, como su nombre sugiere, consiste en mojar solo una parte del sistema radicular durante el evento de riego con la finalidad de inducir a la producción de ácido abscísico en las raíces parcialmente secas, que sirva como una señal para que las hojas reduzcan la apertura estomática y de esta manera disminuyan la pérdida de agua. Al mismo tiempo, las raíces bien irrigadas mantienen el follaje con buen estado hídrico (Rojas *et al.* 2007). En las puntas de las raíces jóvenes y fisiológicamente activas, se produce una señal química que se transporta hacia las hojas, causando una reducción en la conductan-

cia estomática y en el crecimiento de las hojas (Ali, *et al.* 1999 y Bahrum *et al.* 2002).

Cuando las raíces entran en contacto con suelo seco, la señal actúa para reducir la pérdida de agua y el crecimiento de los brotes, resultando en un estatus hídrico favorable para la planta. La señal de la raíz es la elevada concentración de ácido abscísico (ABA) en el xilema (Davies y Zhang 1991; Han 2013; Pérez-Pérez y Dodd 2015).

## Materiales y métodos

El estudio persigue el objetivo de generar al menos una tecnología de manejo agronómico para diferentes especies, en este caso hortalizas (cebolla), apoyando y fortaleciendo el proceso de enseñanza - aprendizaje de alumnos de la FCAyP - UMSS y la interacción social, como parte de un *programa de investigación participativa*, en las campañas agrícolas 2016-2017 y 2017-2018, en “La Tamborada”.

En este marco de trabajo, se han propuesto los siguientes ensayos:

- **Ensayo 1:** “Fertilización con nitrógeno y fósforo y frecuencias de riego en cebolla Capinoteña”.
- **Ensayo 2:** “Frecuencias de riego y nivel de humedad aprovechable en el suelo, en cebolla var. Mizqueña, cultivada en platabandas”.

Los estudios fueron conducidos en el lote 14, a 17°23'48" de latitud Sur, 66°09'35" de longitud Oeste, a 2557 msnm; en predios de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (FCAyP) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), el mismo se encuentra ubicada en el lado sur del establo junto al río La Tamborada.

El clima en la zona es templado húmedo en verano y templado seco en invierno, con una temperatura media anual entre 16 y 18°C, con presencia de heladas en la época invernal, la precipitación anual, varía entre 450 y 600 mm. Los experimentos fueron establecidos en marzo de 2018, bajo el diseño de bloques al azar, con arreglo factorial, con cuatro repeticiones.

En el ensayo 1: *Fertilización con nitrógeno y fósforo y frecuencias de riego en cebolla Capinoteña*, se evaluaron dos niveles de N (50 vs. 100 kg/ha), dos niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (50 vs. 100 kg/ha) y un testigo (50-50-50) y tres frecuencias de riego (7, 14 y 28 días con lámina fija de 10 cm), bajo un diseño de bloques al azar, combinados en nueve tratamientos (en cuatro repeticiones):

- 1: F<sub>50-50-50</sub>-R<sub>7</sub>
- 2: F<sub>50-50-50</sub>-R<sub>14</sub>
- 3: F<sub>50-50-50</sub>-R<sub>28</sub>
- 4: F<sub>100-50-50</sub>-R<sub>7</sub>
- 5: F<sub>100-50-50</sub>-R<sub>14</sub>
- 6: F<sub>100-50-50</sub>-R<sub>28</sub>
- 7: F<sub>50-100-50</sub>-R<sub>7</sub>
- 8: F<sub>50-100-50</sub>-R<sub>14</sub>
- 9: F<sub>50-100-50</sub>-R<sub>28</sub>

La unidad experimental consistió de 12 surcos de 3.5 m a 0.3 m entre surcos y 0.10 m entre plantas. Para evaluar el efecto de los tratamientos, se realizaron muestreos destructivos quincenales desde el trasplante hasta la cosecha en verde del cultivo (datos no presentados). Durante el desarrollo del cultivo se realizaron controles preventivos de plagas y enfermedades y controles manuales de malezas de acuerdo a requerimiento.

En la evaluación final (100 días después del trasplante), en 4 surcos centrales de 3 m, se registró el número total de plantas cosechadas, el peso de la biomasa total, el diámetro promedio de 20 bulbos tomados al azar de cada unidad experimental. El rendimiento, tanto de biomasa total como de bulbos, fue expresado en t/ha para su análisis estadístico correspondiente.

En el ensayo 2: *Frecuencias de riego (FR) y nivel de humedad aprovechable en el suelo (NHAS) en cebolla var. Mizqueña cultivada en platabandas*, se evaluaron tres frecuencias de riego (7, 14 y 28 días) y tres niveles de humedad aprovechable en el suelo (NHAS<sub>25</sub>, 11 litros/m<sup>2</sup>; NHAS<sub>50</sub>, 22 litros/m<sup>2</sup> y NHAS<sub>100</sub>, 33 litros/m<sup>2</sup>), bajo un diseño de bloques al azar en cuatro repeticiones, combinados en nueve tratamientos:

- 1: FR<sub>7</sub>-NHAS<sub>25</sub>
- 2: FR<sub>7</sub>-NHAS<sub>50</sub>
- 3: FR<sub>7</sub>-NHAS<sub>100</sub>
- 4: FR<sub>14</sub>-NHAS<sub>25</sub>
- 5: FR<sub>14</sub>-NHAS<sub>50</sub>
- 6: FR<sub>14</sub>-NHAS<sub>100</sub>
- 7: FR<sub>28</sub>-NHAS<sub>25</sub>
- 8: FR<sub>28</sub>-NHAS<sub>50</sub>
- 9: FR<sub>28</sub>-NHAS<sub>100</sub>

La unidad experimental consistió de 8 surcos de 3.5 m a 0.3 m entre surcos y 0.10 m entre plantas. Antes del trasplante (22/03/2018), se tomaron muestras de suelo para determinar en laboratorio la *Capacidad de Campo* (CC) y el *Punto de Marchitez Permanente* (PMP), con estos datos se determinó la lámina de riego para cada tratamiento. Para evaluar el efecto de los tratamientos, se realizaron muestreos destructivos quincenales desde

el trasplante hasta la cosecha en verde del cultivo (datos no presentados).

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron controles preventivos de plagas y enfermedades y controles manuales de malezas de acuerdo a requerimiento. En la evaluación final (110 días después del trasplante), en 4 surcos centrales de 3 m, se registró el número total de plantas cosechadas, el peso de la biomasa total, y el diámetro promedio de 20 bulbos tomados al azar en cada unidad experimental.

## Resultados y discusión

### Ensayo 1: *Fertilización con nitrógeno y fósforo y frecuencias de riego en cebolla Capinoteña*

El ANVA para el rendimiento en cebolla verde, reportó diferencias significativas para el factor fertilización ( $p \leq 0.0576$ ) y la frecuencia de riego ( $p \leq 0.0018$ ) y no así para la interacción fertilización \* riego ( $p \leq 0.0951$ ) (Cuadro 1).

Las parcelas regadas cada siete días reportaron un rendimiento de 57.85 t/ha de rendimiento de cebolla en verde, la misma que es significativamente superior a los rendimientos de 49.93 y 45.43 t/ha reportados por las parcelas cada 14 y 28 días respectivamente, que a su vez estadísticamente son iguales de acuerdo a la Prueba de Duncan. En relación a la fertilización, el nivel 50-100-50, reportó un rendimiento de 54.33 t/ha, el mismo que estadísticamente es superior al rendimiento de 46.72 t/ha, reportado por el nivel 100-50-50.

Los elevados rendimientos de cebolla verde y la falta de una respuesta marcada a la aplicación de fertilizantes, en el presente estudio, pueden atribuirse, al menos

en parte, a los niveles óptimos de fósforo ( $\geq 15$  ppm) y materia orgánica ( $\geq 1.5\%$ ) en el suelo donde se realizó el experimento. Así, según el análisis de suelo de la parcela, el nivel de fósforo varía de 41.90 a 100 ppm y el nivel de materia orgánica varía entre 1.18 y 3.28%.

**Ensayo 2: Frecuencias de riego y nivel de humedad aprovechable (NHAS) en el suelo, en cebolla var. Mizqueña, cultivada en platabandas**

El análisis de varianza para el diámetro de bulbo (CV: 18%), reportó diferencias altamente significativas para el factor frecuencia de riego ( $p \leq 0.0009$ ) y el nivel de humedad aprovechable en el suelo ( $p \leq 0.0008$ ) y no así para la interacción entre la frecuencia de riego y el nivel de humedad aprovechable en el suelo ( $p \leq 0.2846$ ), lo que demuestra que esta variable respondió de manera independiente a la frecuencia de riego y los niveles de humedad estudiados. Los bulbos de cebolla de mayor diámetro, se lograron en parcelas regadas cada 7 días y las parcelas que recibieron más del 50% del nivel de humedad aprovechable en el suelo (Figura 1).

El análisis de varianza para el rendimiento biológico (CV: 23%), reportó diferencias altamente significativas para la frecuencia de riego ( $p \leq 0.000001$ ), el nivel de humedad aprovechable en el suelo ( $p \leq 0.000001$ ) y la interacción entre la frecuencia de riego y el nivel de humedad aprovechable en el suelo ( $p \leq 0.000001$ ).

La Figura 2 presenta los datos de rendimiento para los diferentes tratamientos evaluados.

Analizando la interacción significativa ( $p \leq 0.00001$ ) entre la frecuencia de riego y el nivel de humedad aprovechable en el suelo, se observa mediante la Figura 3, que las parcelas que recibieron el 100% del nivel de humedad (NHAS<sub>100</sub>), reportaron un incremento significativo de 19 t/ha por cada 10% de incremento en el nivel de humedad aprovechable en el suelo ( $R^2 = 0.9919$ ) comparado con los niveles de 50 y 25%, que reportaron incrementos de 15.62 y 3.57 t/ha, respectivamente.

Según Randall y Sinclair (1988) y Tardieu *et al.*, (2000), los cultivos empiezan a mostrar síntomas de estrés por sequía, cuando los niveles de humedad aprovechable en el suelo están por debajo del 50%, como ocurrió en el presente caso, las parcelas con 25% del nivel de agua aprovechable en el suelo, han reducido significativamente su rendimiento.

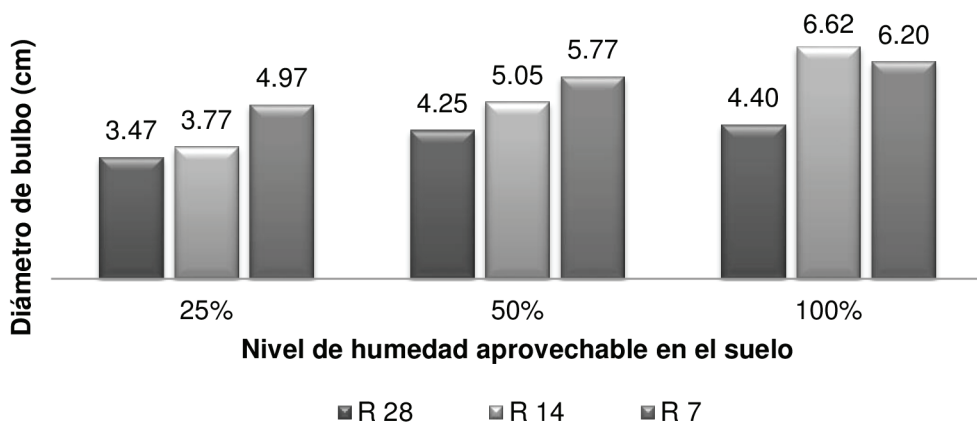
Bajo estas condiciones, las plantas empiezan a deprimir varios procesos relacionados con el crecimiento como la división y elongación celular, al respecto Alves y Setter (2004), indican que la tasa de división y expansión celular son los principales procesos directamente relacionados con el crecimiento y desarrollo vegetal y que ligeros estreses de humedad (NHAS<sub>25</sub> y NHAS<sub>50</sub>), incluso antes que la fotosíntesis y la respiración.

En estos casos, los mecanismos de sobrevivencia de las plantas al déficit hídrico, incluyen la tolerancia a la sequía mediante mecanismos de osmo regulación como la acumulación de prolina y las estrategias para evitar la sequía como la floración temprana y el desarrollo de raíces más profundas (Levit 1972).

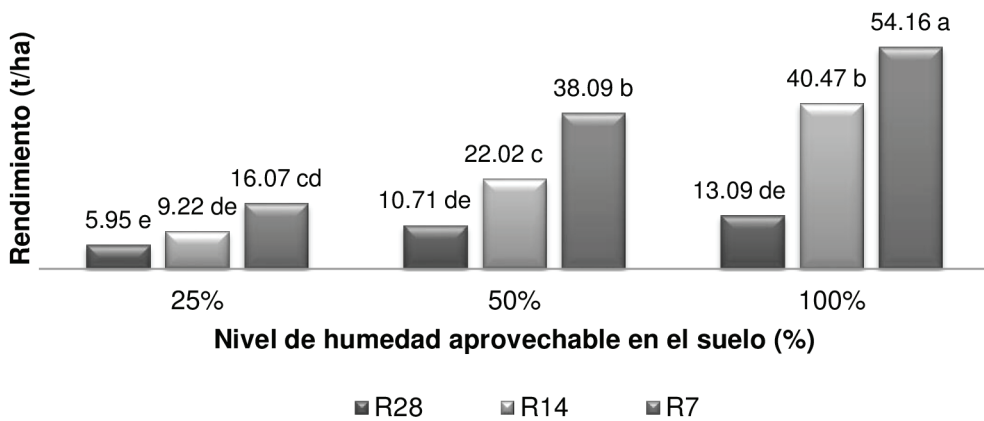
**Cuadro 1.** Cuadrados medios, valores de F y probabilidad del efecto de la fertilización química y la frecuencia de riego sobre el rendimiento de cebolla en verde (t/ha)

Fuente de variación	GL	CM	F	P
Bloques	3	18.26	0.3197	
Fertilización (A)	2	184.17	3.2230	0.0576
Frecuencia de riego (B)	2	474.62	8.3056	0.0018
A*B	4	127.81	2.2367	0.0951
Error	24	57.14		

CV: 16%

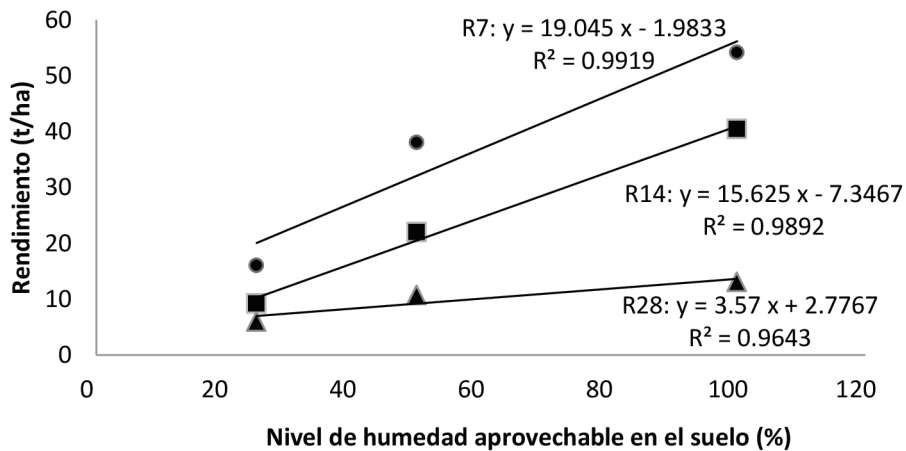


**Figura 1.** Efecto de tres frecuencias de riego (7, 14 y 28 días) y tres niveles de humedad aprovechable en el suelo (NHAS) (25, 50 y 100%) sobre el diámetro del bulbo en cebolla mizqueña, 2018



**Figura 2.** Efecto de tres frecuencias de riego (7, 14 y 28 días) y tres niveles de humedad aprovechable en el suelo (NHAS) (25, 50 y 100%) sobre el rendimiento de cebolla mizqueña, 2018





**Figura 3.** Efecto de tres frecuencias de riego (7, 14 y 28 días) y tres niveles de humedad aprovechable en el suelo (NHAS) (25, 50 y 100%) sobre el rendimiento de cebolla mizqueña, 2018

### *Discusión general*

Los resultados logrados en los distintos ensayos de manejo agronómico, muestran que las mayores varianzas se han generado con los tratamientos de riego, demostrando contundentemente que este factor define claramente el éxito de los otros factores de manejo agronómico, como ser la fertilización, densidades de siembra y labores culturales. Estos últimos factores, reportaron las menores respuestas en términos de rendimiento biológico y/o rendimiento agronómico de las leguminosas, hortalizas, cereales y tubérculos estudiados.

Al respecto, Han *et al.* (2015), indican que en la mayor parte de la regiones semiáridas del mundo, la escasa oferta de agua para riego suplementario limita la producción de los cultivos, adicionalmente al agua de riego, la producción de los cultivos responde a la cantidad total de nitrógeno (fertilizante) aplicado hasta alcanzar el nivel óptimo.

La aplicación óptima tanto del riego como del nitrógeno (fertilizante), juega un rol determinante para incrementar la productividad del nitrógeno y el agua y reducir los riesgos de la contaminación ambiental (Hou *et al.* 2012). El estrés por sequía tiene un impacto significativo sobre el crecimiento y el desarrollo del maíz, resultando en una reducción del rendimiento (Mansouri-Far *et al.* 2010).

Una escasa oferta de nitrógeno puede restringir el crecimiento y el desarrollo del cultivo, por el contrario, una oferta óptima de nitrógeno, puede incrementar la producción de biomasa y el rendimiento.

Una deficiencia de nitrógeno en combinación con el estrés hídrico en maíz, reduce el área foliar y la biomasa vegetativa.

## Referencias citadas

- Ali M., Jensen C., Morgensen V., Andersen M., Henson I. 1999. Root signaling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. *Field Crop Res.* 62:35-52.
- Alves A., Setter T. 2004. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Ann. Bot. (London)* 94: 605-613.
- Attipalli R., Kolluru V., Munusamy V. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161: 1189-1202.
- Bajji M., Lutts S., Kinet J. 2000. Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in roots and leaves of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. *J. Plant Physiol.* 157: 100-108.
- Benavides M. 2002. Ecofisiología y química del estrés en plantas. Departamento de Agricultura/UAAAN - México. 123 p.
- Davies W., Zhang J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 55-76.
- Dreesmann S., Singh R. 2001. Combining ability studies for some morphophysiological and biochemical traits related to drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Indian J. Gen. Plant Breed.* 61: 34-36.
- Dreesmann D., Harn C., Daie J. 1994. Expression of genes encoding Rubisco in sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) plants subjected to gradual desiccation. *Plant Cell Physiol.* 35: 645-653.
- FAO. 2013. Statistical Yearbook 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Han K. 2013. Spatial management of water and nitrogen and interactive effects of water, nitrogen and planting density on summer maize. Ph.D. diss. Northwest Agric For. Univ., Yangling, Shaanxi, China. 123 p.
- Han K., Zhou C., Sheng H., Yang Y., Zhang L., Wang L., Chen G., Li Z. 2015. Improvements in corn yield, N uptake, and water use efficiency by alternating N rate and irrigation to various plant densities. *Agron. J.* 107(1): 93-103.
- Harsh N. 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Envir. Exp. Bot.* 50: 253-264.
- He P., Li S., Jin J., Wang H., Li C., Wang Y., Cui R. 2009. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat maize rotations in North-Central China. *Agron. J.* 101: 1489-1496.
- Hospido A., Nuñez M., Antón A. 2012. Irrigation mix: How to include water sources when assessing freshwater consumption impacts associated to crops. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18: 881-890.
- Hou P., Gao Q., Xie R., Li S., Meng Q., Kirkby E., Römheld, Müller T., Zhang F., Cui Z., Chen X. 2012. Grain yields in relation to N requirement: Optimizing nitrogen management for spring maize grown in China. *Field Crops Res.* 129: 1-36.
- Ju X., Xing G., Chen X., Zhang S., Zhang L., Liu X. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106: 3041-3046.
- Levit J. 1972. Response of plants to environmental stress. Academic Press, New York.
- Long S., Marshall-Colon A., Zhu X. 2015. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell* 161(1): 56-66.

- Mansouri-Far C., Sanavy S., Saberali S. 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agric. Water Manage.* 97: 12-22.
- Ober E., Sharp R. 1994. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol.* 105: 981-987.
- Pérez-Pérez J., Dodd I. 2015. Sap fluxes from different parts of the root zone modulate xylem ABA concentration during partial root zone drying and re-wetting. *J. Exp. Bot.* 66(8): 2315-2324.
- Petcu E., Terbea M. 1996. Dynamics of the proline content in maize plants under drought conditions. *Anal. Institut. Cercetari pentru Cereale Plante Tehnice, Fundulea.* p. 263-272.
- Ramanjulu S., Sudhakar C. 2000. Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *J. Plant Physiol.* 157: 81-85.
- Randall H., Sinclair T. 1988. Sensitivity of soybean leaf development to water deficit. *Plant Cell Environ.* 11: 835-839.
- Rojas G., Posadas A., Quiroz R., Holle M., Malagan M. 2007. Secado parcial de raíces: Una promisorio técnica de riego en papa (*Solanum tuberosum* L.) Universidad Agraria "La Molina", Departamento de Recursos Naturales del Centro Internacional de la papa. **En:** *Revista Zonas Áridas*, 11(1): 206-218.
- Setiyono T., Walters D., Cassman K., Witt C., Dobermann A. 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Res.* 118: 158-168.
- Simard R., Tran T., Zizka J. 1991. Strontium chloride-citric acid extraction evaluated as a soil testing procedure for phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 414-421.
- Sims J., Vasilas B., Gartley K., Milliken B., Green V. 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on matured soils of the Atlantic coastal-plain. *Agron. J.* 87: 213-222.
- Stewart R., Hanson A. 1980. Proline accumulation as a metabolic response to water stress. **In:** Turner N., Kramer P. (ed.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* Wiley. New York, EE.UU. p. 173-189.
- Stewart W., Dibb D., Johnston A., Smyth T. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.* 97: 1-6.
- Sutton M., Oenema O., Erisman J., Leip A., van Grinsven H., Winiwarer W. 2011. Too much of a good things. *Nature* (London). 472: 159-161.
- Tardieu F., Reymond M., Hamard P., Granier C., Muller B. 2000. Spatial distribution of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: A synthesis of the effects of soil water status, evaporative demand and temperature. *J. Exp. Bot.* 51: 1505-1514.
- Tran T., Simard R., Tabi M. 1992. Evaluation of the electro ultra-filtration technique (EUF) to determine available P in neutral and calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 2261-2281.
- Uhart S., Andrade F. 1995. Nitrogen deficiency in maize in maize: I Effects on crop growth, development and dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science.* 35: 1376-1385.
- Verslues P., Sharp R. 1999. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. II. Metabolic source of increased proline deposition in the elongation zone. *Plant Physiol.* 119: 1349-1360.

*Trabajo recibido el 8 de marzo de 2019 - Trabajo aceptado el 24 de junio de 2019*