

La fertilidad del suelo afecta el crecimiento, nutrición y rendimiento de algodón cultivado en dos sistemas de riego y diferentes dosis de nitrógeno

Soil fertility affects the growth, nutrition and yield of cotton cultivated in two irrigation systems and different nitrogen rates

Jesús Santillano Cázares¹, Luis Guadalupe Roque Díaz¹, Fidel Núñez Ramírez^{1‡},
Raúl Leonel Grijalva Contreras², Fabián Robles Contreras², Rubén Macías Duarte²,
Isabel Escobosa García¹ y Víctor Cárdenas Salazar¹

¹ Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta S/N, Ejido Nuevo León. 21705 Mexicali, Baja California, México.

[‡] Autor responsable (fidel.nunez@uabc.edu.mx)

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Costa de Hermosillo, Sitio Experimental Caborca. Avenida S No. 8 Norte. 83600 Caborca, Sonora, México.

RESUMEN

La fertilidad intrínseca del suelo y la forma de riego podrían afectar la eficiencia de la fertilización con nitrógeno (N), modificar la meta de rendimiento, el crecimiento y el estado nutricional de los cultivos. Se realizó un estudio con el objetivo de conocer el rendimiento, crecimiento, eficiencia en el uso del agua (EU_A), eficiencia agronómica del N (EAN), además de medir la concentración de NO_3^- en el extracto celular de peciolo (ECP) y el índice de clorofila (SPAD) en el cultivo de algodón por efecto de diferentes dosis de N y dos formas de aplicar el riego. El estudio consistió en dos experimentos establecidos en suelos considerados de alta fertilidad [>13.0 g kg^{-1} materia orgánica (MO) y $N-NO_3^- > 30$ mg kg^{-1}], variando la dosis de fertilización nitrogenada en cada uno de ellos: a) riego rodado (FRR; 11 y 220 kg N ha^{-1}) y b) riego por goteo (FRG; 11 a 440 kg N ha^{-1}). La altura y número de nudos en las plantas no se afectaron por los tratamientos aplicados. Los valores encontrados en el SPAD y la concentración de NO_3^- en ECP se relacionaron en forma cúbica con el rendimiento del cultivo. El mayor rendimiento y la EU_A se obtuvo en el experimento manejado con riego goteo. En el experimento FRR no se encontró respuesta a los tratamientos de fertilización nitrogenada. En el experimento FRG la aplicación de 440 kg N ha^{-1} , redujo en un 43% el rendimiento en comparación con el resto

de las dosis evaluadas. La EAN fue estadísticamente mayor ($P < 0.001$) en los tratamientos fertilizados con 11 kg N ha^{-1} . La disminuida respuesta en rendimiento en el cultivo de algodón debido a la aplicación de N fue atribuida a las altas concentraciones de $N-NO_3^-$ y MO que estuvo presente en los suelos en donde se realizaron los experimentos.

Palabras clave: diagnóstico nutricional, fertirrigación, *Gossypium hirsutum*, nutrición mineral.

SUMMARY

Intrinsic soil fertility and the method of irrigation can affect the efficiency of nitrogen (N) fertilization, modify the yield goal, growth, and nutritional status of crops. A study was carried out with the objective of determining yield, growth, water use efficiency (WUE), agronomic efficiency of N (AEN), NO_3^- concentration in petiole cell extract (PCE) and chlorophyll index (SPAD) in a cotton crop by effect of N rates and two irrigation methods. The study consisted of two experiments established in soils of high fertility [>13 g kg^{-1} organic matter (OM) and $N-NO_3^- > 30$ mg kg^{-1}], with varying N fertilization rates: a) flood irrigation (FRR, 11 and 220 kg N ha^{-1}), and b) drip irrigation (FRG, 11 to 440 kg N ha^{-1}). Plant height and number of nodes were not affected

Cita recomendada:

Santillano Cázares, J., L. G. Roque Díaz, F. Núñez Ramírez, R. L. Grijalva Contreras, F. Robles Contreras, R. Macías Duarte, I. Escobosa García y V. Cárdenas Salazar. 2019. La fertilidad del suelo afecta el crecimiento, nutrición y rendimiento de algodón cultivado en dos sistemas de riego y diferentes dosis de nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 37: 7-14.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i1.304>

Recibido: enero de 2018.

Aceptado: octubre de 2018.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 7-14.

by the applied treatments. SPAD values and NO_3^- concentrations in PCE were cubically related to crop yield. The highest yield and WUE was obtained in the experiment with drip irrigation. In the FRR experiment no response ($P > 0.05$) to N fertilization treatments was found. In the FRG experiment, application of 440 kg N ha^{-1} reduced yield by 43% compared to the rest of the evaluated rates. AEN was statistically higher ($P < 0.001$) in treatments fertilized with 11 kg N ha^{-1} . The low yield response due to application of N in cotton was attributed to high concentrations of N-NO_3^- and OM that are present in the soils in which the experiments were conducted.

Index words: fertigation, *Gossypium hirsutum*, mineral nutrition, nutrimental diagnostic.

INTRODUCCIÓN

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es uno de los cultivos con mayor superficie cultivada en México. El reporte de superficie de siembra en 2017, realizado por el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2018) menciona un área cultivada de 22 804 hectáreas. Entre los principales lugares productores de este cultivo, el valle de Mexicali en Baja California ocupa el segundo lugar en superficie de siembra con 13 636 hectáreas con rendimiento promedio de 1800 kg de fibra por hectárea (Wolf y Otero, 2016). La importancia de cultivo en esta región del noroeste estriba en que genera una derrama económica de alrededor de los 2250 dólares por hectárea, al cotizar a 300 dólares cada paca de algodón con peso de 230 kg (ASERCA, 2017).

El manejo eficiente del riego en los cultivos agrícolas incrementa el rendimiento, mejora la calidad de los productos cosechados y hace eficiente la aplicación de insumos agrícolas. En este último aspecto, la aplicación de fertilizante nitrogenado resulta ser uno de los que mayor impacto tiene sobre los cultivos (Baligar *et al.*, 2001). El caso del algodón no es la excepción. Regularmente la demanda de N para algodón de alto rendimiento varía entre 3.4 y $4.2 \text{ g planta}^{-1}$ (Hou *et al.*, 2007), aunque la eficiencia de absorción del fertilizante aplicado puede cambiar dependiendo del manejo del agua de riego. Bronson (2008) reporta que utilizando sistemas de riego presurizado, el uso eficiente del N se puede incrementar en un 75% en comparación con la utilización de riego por gravedad el cual solo alcanza

el 12% del fertilizante aplicado. Otros factores que afectan la eficiencia de toma del fertilizante aplicado es la precipitación de agua de lluvia durante el ciclo de crecimiento del cultivo, la cantidad de residuos de cosecha del año anterior o la aplicación de enmiendas como estiércoles (Blaise *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007).

El valle de Mexicali en Baja California, posee en su mayoría suelos con textura arcillosa, en los cuales los productores tradicionalmente han enriquecido con aportaciones de compostas o estiércol bovino. La aplicación de este tipo de enmiendas a los suelos modifica sustancialmente sus propiedades. Lo anterior incluye el incremento en la cantidad de sales solubles (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^-), MO, N total y la biomasa microbiana (Andrews *et al.*, 2002; Hao y Chang, 2003).

Los suelos arcillosos con suficiente materia orgánica (MO) tienen la característica de poseer alta capacidad de intercambio catiónico, son ricos en potasio (Barré *et al.*, 2008), fósforo (Sharpley, 1985), además de que conservan la estabilidad y cohesión en sus agregados (Chenu *et al.*, 2000; Tejada y Gonzalez, 2003). Dependiendo de la humedad y la temperatura del suelo, la mineralización de la MO se incrementa y pone a disposición los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento de las plantas (Leiros *et al.*, 1999). En este sentido, condiciones de ambiente cálido y húmedo resultan favorables para el crecimiento de los cultivos debido a que se puede satisfacer la demanda de algunos de los nutrientes esenciales y se obtienen altos rendimientos (Hood, 2001).

Usualmente en suelos con altas concentraciones de N-NO_3^- residual, los cultivos no responden a la fertilización nitrogenada, sobre todo cuando son cultivados durante la temporada de verano (Lazicki y Geisseler, 2016). Al respecto, se han realizado investigaciones en las cuales se evalúa el efecto del nivel de N-NO_3^- residual en suelo y de la aplicación de enmiendas al suelo sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Blaise *et al.*, 2005); Los resultados obtenidos sugieren que es posible conseguir el mismo rendimiento en parcelas fertilizadas que en aquellas en las que la concentración de N-NO_3^- en pre siembra es mayor a los 30 mg kg^{-1} (Hartz *et al.*, 2000). Sin embargo, investigación en la que se considere la fertilidad del suelo previa a cultivar algodón en el valle de Mexicali no existen. Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar en dos experimentos, el efecto que tiene la fertilidad del suelo

(ricos en N-NO₃ y MO) sobre el rendimiento de fibra de algodón cuando es manejado con diferentes dosis de N bajo riego por gravedad y riego por goteo. Otros parámetros evaluados fueron el crecimiento, el estado nutricional del cultivo y la eficiencia en el uso del agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dos experimentos por separado fueron conducidos en terrenos del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali Baja California, México. Uno de ellos fue realizado utilizando riego rodado (FRR; 32° 24' 18" N, 115° 12' 04" O) y el otro utilizando riego por goteo (FRG; 32° 24' 26" N, 115° 11' 55" O). Las características de los suelos utilizados son presentadas en el Cuadro 1. En ambos experimentos, la preparación de suelo fue la misma y consistió en paso doble de rastra, nivelación y levantamiento de camas a 80 cm de separación. La siembra se realizó el 21 de marzo de 2013 y se utilizó la variedad de algodón Deltapine 0912 (Monsanto, Az. E.U.). La densidad de población fue de 16 plantas por metro lineal.

En el experimento FRR, se evaluaron dos tratamientos con N (T1: 11 y T2: 220 kg·ha⁻¹). En ambos tratamientos se aplicaron 52 kg de fósforo y 11 kg N ha⁻¹ en pre siembra utilizando fosfato mono amónico (11-52-00). El resto de la dosis de N en el T2, se distribuyó en el segundo y tercer riego de auxilio (104.5 kg N ha⁻¹ en cada riego) de acuerdo a la propuesta de Herrera-Andrade *et al.* (2010). La fuente de N utilizada fue sulfato de amonio. Después de la siembra se realizó un riego de germinación y tres de auxilio (30, 66 y 78 días después de la siembra [DDS]). Cada riego se realizó utilizando tubos de policloruro de vinilo negro con diámetro de 5.2 cm. En cada evento de riego se aforaron los gastos de cada tubo con el objetivo de obtener el volumen total de agua aplicada. La parcela experimental consistió de tres camas con una longitud de 8 m. Los tratamientos fueron distribuidos completamente al azar con cinco repeticiones. La parcela útil fue la cama central.

En el caso del experimento FRG, se instaló cintilla con gasto de 3.1 L hr⁻¹ m⁻¹ con goteros separados a 30 cm. La parcela experimental consistió de cuatro camas con una longitud de 18 m. Los tratamientos evaluados fueron 11, 110, 220 y 440 kg N ha⁻¹.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos en los experimentos de fertilización en riego rodado (FRR) y fertilización en riego por goteo (FRG).

Table 1. Physical and chemical characteristics of soils in the experiments of fertilization in flood irrigation (FRR) and fertilization in drip irrigation (FRG).

Parámetro	Experimento	
	Fertilización en riego rodado	Fertilización en riego por goteo
Profundidad 0 - 30 cm		
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	13.3	34.6
Fósforo Olsen (mg kg ⁻¹)	25.2	152
Potasio (mg kg ⁻¹)	286	1286
Calcio (mg kg ⁻¹)	3935	5427
Magnesio (mg kg ⁻¹)	662	1179
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	30.2	38.6
pH (1:2 agua)	7.27	7.97
Carbonatos totales (%)	10.2	15.5
Salinidad (CE extracto: dSm ⁻¹)	5.44	11.9
Textura	Franco	Arcilloso
Conductividad hidráulica (cm h ⁻¹)	2.10	0.18
Densidad aparente (g cm ³)	0.93	1.09
Porcentaje de sodio intercambiable	9.4	15.7

En los cuatro tratamientos se aplicaron 52 kg de fósforo y 11 kg N ha⁻¹ en pre siembra utilizando fosfato mono amónico (11-52-00). El resto de la dosis de N en los tratamientos se empleó sulfato de amonio. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La parcela útil para cosecha fueron los dos surcos centrales. La aplicación de los tratamientos de N se realizó de acuerdo con la curva de absorción de nutrientes publicada por Schwab *et al.* (2000). El riego se aplicó de acuerdo a lecturas obtenidas de dos tensiómetros instalados a una profundidad de 30 cm en la línea de las plantas del tratamiento 220 kg N. Se aplicó una lámina de riego de 3 mm de reposición cuando el promedio de los tensiómetros alcanzó lecturas de 30 kPa durante la etapa de establecimiento del cultivo, 20 kPa en desarrollo vegetativo, 30 kPa en floración, 40 kPa en fructificación y 60 kPa en maduración de los capullos de algodón. En ambos experimentos el control de malezas y plagas se realizó de acuerdo a las prácticas recomendadas por Herrera-Andrade *et al.*, 2010.

A los 37 DDS, en ambos experimentos, se seleccionaron diez plantas por tratamiento y cada semana se les midió la altura y el número de nudos en el tallo principal. Adicionalmente a los 83 DDS, se determinó el índice de clorofila (SPAD) y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo (ECP). Para la medición del SPAD se utilizó el medidor SPAD-502 (Spectrum Technologies Inc.®). La medición se realizó en cinco hojas recientemente maduras y representativas de cada parcela experimental. Adicionalmente se colectaron dichas hojas y se les depredieron los folíolos. Al peciolo resultante, se le extrajo el líquido celular con una prensa manual para ajos y se le determinó la concentración de NO₃⁻ con el ionómetro Cardy (Japón, Horiba, Inc.®). El muestreo de hojas se realizó en horario de 8:00 a 10:00 horas con el fin de evitar variaciones en la concentración de nitratos durante el día (Hochmuth, 1994).

La cosecha de fibra se realizó a los 114 DDS. Se obtuvieron frutos completos por cada tratamiento (fibra, semilla y cascarilla). Se colectó una submuestra aproximadamente de 100 g y se determinó el porcentaje de fibra, y de semilla-cascarilla. El porcentaje se multiplicó por el peso total de la muestra y se obtuvo el peso de la fibra solamente. Adicionalmente, con los datos de rendimiento y del agua de riego aplicada en cada sistema de riego, se identificó el uso eficiente

de la misma (EU_A; kg de fibra por m³ de agua de riego aplicado) y la eficiencia agronómica del fertilizante aplicado (EAN; Mg kg⁻¹ N).

Los valores SPAD y las concentraciones de NO₃⁻ en ECP se asociaron *versus* el rendimiento del cultivo a través de técnicas de regresión. Los valores SPAD y NO₃⁻ en ECP de ambos experimentos se asociaron en la misma gráfica, considerando el uso de la misma variedad y fecha de siembra. Se escogió el modelo que mejor se ajustó según la R² obtenida. A los valores obtenidos de las medias de las variables de rendimiento de fibra, la EU_A y la EAN se les realizó análisis de varianza. En el experimento FRR se utilizó la prueba *t* de Student con el paquete estadístico MINITAB 14. En el experimento FRG, cuando se identificó diferencia entre las medias, se realizó la prueba de Tukey (*P* < 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura y Número de Nudos

La Figura 1 muestra el crecimiento de las plantas de algodón del experimento FRR. Desde los 44 y hasta los 79 DDS las plantas de algodón sin fertilización con N, resultaron estadísticamente con un menor número de nudos que las plantas fertilizadas (*P* < 0.05). Sin embargo, después de ese tiempo ambos tratamientos mostraron igual número de nudos por plantas, alcanzando los 13.8 y 12.4 (0 y 220 kg N ha⁻¹, respectivamente). Con la variable altura (Figura 1b), la respuesta de las plantas fertilizadas mostró un mayor crecimiento que las plantas si fertilizar. Al final del estudio, las plantas fertilizadas con 200 kg N ha⁻¹ alcanzaron una altura de 65.2 cm, mientras que las plantas sin fertilizar solo alcanzaron los 52.9 cm. Por otro lado, las plantas del experimento FRG presentaron igual número de nudos cada semana (*P* > 0.05; Figura 2a). Al final del estudio los cuatro tratamientos alcanzaron en total 13.1 entrenudos. Lo mismo sucedió con la variable altura debido a que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (*P* > 0.05; Figura 2b). Al final del estudio las plantas alcanzaron un total de 64.5 cm de altura.

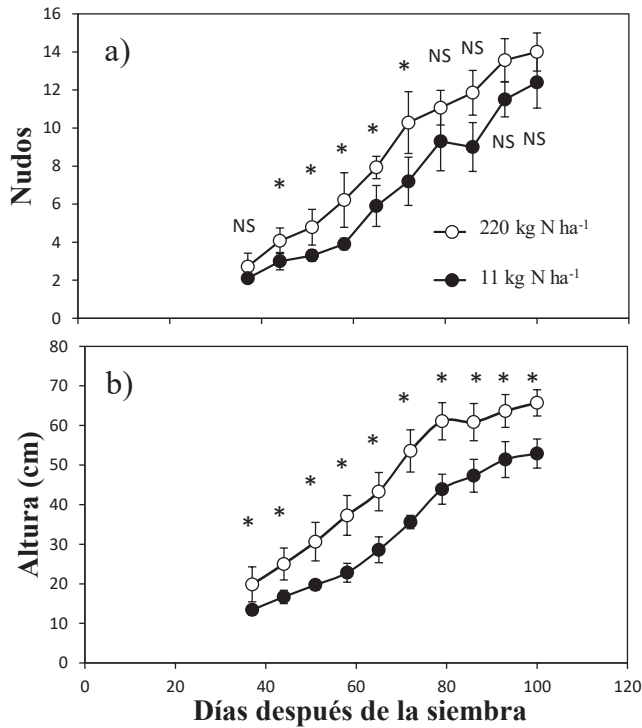


Figura 1. Número de nudos (a) y altura (b) de las plantas de algodón cultivado en el experimento FRR. (NS: no significativo $P > 0.05$; *: Significante $P < 0.05$; barras verticales significan \pm desviación estándar).

Figure 1. Node number (a) and height (b) of cotton plants cultivated in experiment FRR. (NS: not significant at $P > 0.05$; *: Significant $P < 0.05$; vertical bars indicate mean \pm standard deviation).

Valores SPAD y NO_3^-

La Figura 3 muestra la asociación entre los valores SPAD y el rendimiento del cultivo. En ella se aprecia que los valores SPAD obtenidos en el experimento FRR estuvieron por debajo de las 38 unidades, mientras que en el experimento FRG los valores fueron en el orden de los 45 a 54 unidades. Al correr el modelo, se identificó una asociación cúbica altamente significativa ($R^2 = 0.7616$; $P < 0.001$). Lo anterior indicaría que el incremento en el rendimiento por encima de las 2.5 Mg ha^{-1} , no implicaría un aumento en los valores SPAD por encima de las 54 unidades.

La Figura 4 muestra la asociación entre la concentración de NO_3^- en ECP y el rendimiento del cultivo. Se aprecia que las concentraciones de NO_3^- en el experimento FRR se incrementaron conforme aumentó el rendimiento llegando a valores de 2000 mg L^{-1} a rendimiento de 2.2 Mg ha^{-1} . Por su parte las concentraciones de NO_3^- registrados en

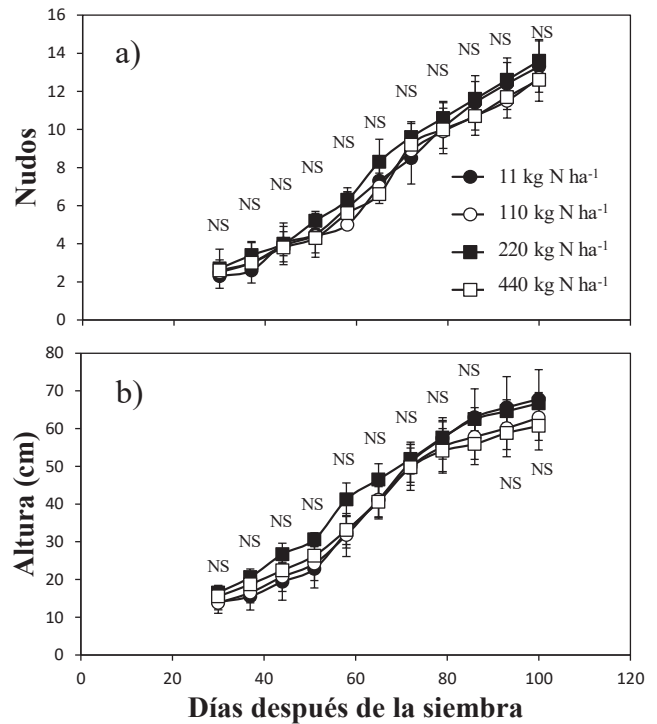


Figura 2. Número de nudos (a) y altura (a) de las plantas de algodón cultivado en el experimento FRG (NS: no significativo $P > 0.05$; barras verticales significan \pm desviación estándar).

Figure 2. Node number (a) and height (b) of cotton plants cultivated in experiment FRG. (NS: not significant at $P > 0.05$; vertical bars indicate mean \pm standard deviation).

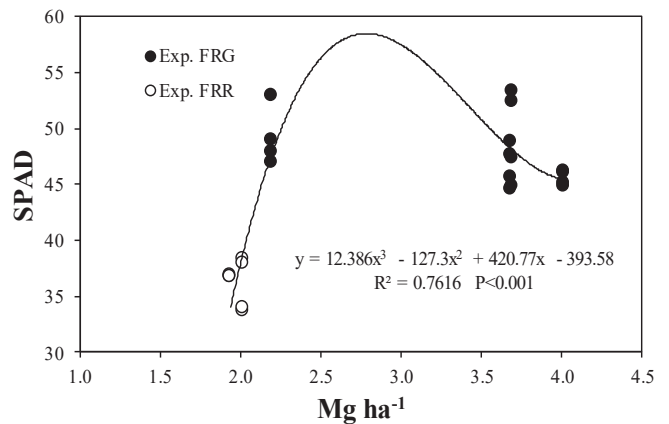


Figura 3. Relación entre el índice SPAD y el rendimiento del cultivo de algodón cultivado bajo fertilización con nitrógeno en un sistema de riego por goteo (FRG) y en riego rodado (FRR).

Figure 3. Relationship between SPAD index and yield of cotton cultivated under nitrogen fertilization through drip irrigation (FRG) and flood irrigation (FRR).

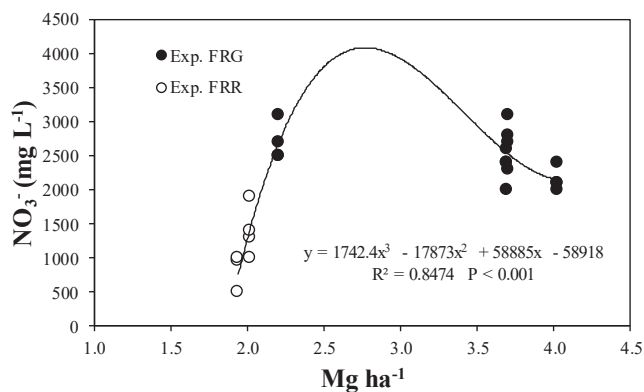


Figura 4. Relación entre la concentración de NO_3^- en ECP y el rendimiento del cultivo de algodón bajo fertilización con nitrógeno en un sistema de riego por goteo (FRG) y en riego rodado (FRR).

Figure 4. Relationship between NO_3^- concentration in PCE and yield of cotton crop cultivated under nitrogen fertilization through drip irrigation (FRG) and flood irrigation (FRR).

el experimento de FRG estuvieron en el orden de los 2500 a 3100 mg L^{-1} . Al agrupar los valores de ambos experimentos, se encontró una asociación cúbica altamente significativa ($R^2 = 0.8474$; $P < 0.001$) que explicaría un incremento en el rendimiento del cultivo al llegar las concentraciones de NO_3^- a valores de 2500 mg L^{-1} . De igual forma que los valores SPAD, un incremento en las concentraciones de NO_3^- no necesariamente repercutieron en un incremento en rendimiento del cultivo.

Rendimiento, EU_A y EAN

El Cuadro 2 muestra el rendimiento, la eficiencia en el uso del agua de riego aplicada y eficiencia de fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo. En el experimento FRR, no se encontró respuesta significativa en rendimiento ($P = 0.820$) ni en la EU_A ($P = 0.821$) a la aplicación de N. El rendimiento estuvo en el orden de las 2.2 Mg fibra ha^{-1} , mientras que la EU_A fue en los 0.32 kg m^3 . Por otra parte, y debido a la nula respuesta en rendimiento a la aplicación de N, la EAN encontró diferencias significativas ($P < 0.001$) con valores de 176 kg kg^{-1} N para el tratamiento de 11 kg N ha^{-1} , y de 9 kg kg^{-1} N para el tratamiento de 220 kg N ha^{-1} .

Para el caso del experimento FRG, la aplicación de N al cultivo tuvo un efecto negativo en el rendimiento, la EU_A y la EAN. El menor rendimiento lo obtuvo el tratamiento con 440 kg ha^{-1} de N con 2.21 Mg fibra ha^{-1} . El mismo comportamiento fue observado en la variable EU_A en la que el tratamiento de 440 kg N ha^{-1} obtuvo el valor más bajo (0.211 kg m^3 ; $P = 0.011$) que el resto de los tratamientos evaluados. Así mismo la aplicación de 11 kg N ha^{-1} , obtuvo la mayor EAN ($P < 0.001$; 348 kg kg^{-1} N) que el resto de los tratamientos evaluados.

Las condiciones de la fertilidad intrínseca del suelo en los cultivos pueden afectar el crecimiento de las plantas y en consecuencia el rendimiento de las mismas.

Cuadro 2. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de riego en algodón por efecto de la dosis de nitrógeno y la utilización de sistema de riego. Table 2. Yield and irrigation water use efficiency in cotton by effect of nitrogen rates and the irrigation system used.

Exp. FRR	Rendimiento	Lámina de riego	EU_A^\ddagger	EAN §
kg N ha^{-1}	Mg ha^{-1}	mm	kg m^3	kg kg^{-1} N
11	1.94 a †	615	0.316 a	176 a
220	2.02 a	615	0.328 a	9 b
Significancia	0.82		0.821	< 0.001
Exp. FRG				
11	4.00 a	1045	0.380 a	348 a
110	3.69 a	1045	0.353 a	32 b
220	3.71 a	1045	0.355 a	16 b
440	2.21 b	1045	0.211 b	0.004 b
Significancia	0.012		0.011	< 0.001

† Letras iguales en cada columna denotan igualdad estadística. FRR = fertilización en riego rodado; FRG = fertilización en riego por goteo. ‡ EU_A = eficiencia en el uso del agua de riego (rendimiento fibra por cada m^3 agua de riego aplicada). § EAN = eficiencia agronómica del N aplicado (rendimiento total kg^{-1} N ha^{-1}).

† Equal letters in each column denote statistical equality. FRR = fertilization in flood irrigation; FRG = fertilization in drip irrigation. ‡ WUE = water use efficiency of irrigation water (fiber yield per m^3 applied irrigation water). § AEN = agronomic efficiency of the applied N (total yield kg^{-1} N ha^{-1}).

En este estudio la alta concentración de N-NO₃ en el suelo de ambos experimentos, posiblemente satisfizo la demanda del cultivo de algodón durante la estación de crecimiento impactando poco en el rendimiento de fibra de algodón. Considerando la concentración inicial de N-NO₃ en el suelo en el experimento FRR y FRG se tendrían alrededor de 84 y 126 kg ha⁻¹ de N disponible [(N en suelo = N-NO₃ × densidad aparente × 30 cm de perfil del suelo) × 10] (Castellanos *et al.*, 2000).

Así mismo los altos contenidos de MO en cada uno de los suelos utilizados, también podrían haber contribuido a la mineralización de N y complementar la demanda de N por parte del cultivo. Al respecto Hartz *et al.* (2000) realizando estudios de mineralización en suelos tipo vertisol, similares a los utilizados en este experimento, encontraron velocidades de mineralización de N por parte de la MO de hasta 0.013 mg día⁻¹ kg⁻¹ de suelo (un estimado teórico de 1.96 kg ha⁻¹ día⁻¹ de N). La demanda de N del cultivo de algodón ha sido identificada por Halevy *et al.* (1987) y se encuentran en el orden de los 2.15 kg ha⁻¹ día⁻¹.

La nula respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado incrementó la EAN, concentrando los mayores valores en los tratamientos con aplicación de 11 kg ha⁻¹ de N. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con aquellos obtenidos por Araújo *et al.* (2013). Ellos encontraron que conforme se incrementaba la aplicación de N al cultivo de algodón, menor resultaba la EAN. Por su parte Castellanos *et al.* (2000) mencionan que la respuesta de los cultivos a la aplicación de algún nutriente depende de la cantidad mínima presente en el suelo. Por lo tanto, a mayor cantidad de nutriente en el suelo, menor es la respuesta por parte del cultivo a la aplicación de dosis adicionales de dicho nutriente. También menciona que aplicar altas dosis de un nutriente en un suelo con grandes concentraciones de dicho nutriente, los rendimientos pueden resultar afectados. Tal podría haber sido el caso lo que sucedió con el tratamiento de 440 kg ha⁻¹ de N del experimento FRG.

Por otro lado, las concentraciones de NO₃⁻ y valores de SPAD obtenidos en ambos experimentos, se relacionaron positivamente con el rendimiento ($P < 0.001$). Producciones por encima de las 2.2 Mg ha⁻¹ de fibra de algodón, requieren valores de índice SPAD de 50 unidades, mientras que las concentraciones de NO₃⁻, requieren valores por encima de 2500 mg L⁻¹ (Figuras 3 y 4). Los valores SPAD concuerdan con

aquellos obtenidos por Rosolem *et al.* (2006). Ellos encontraron que en las etapas de crecimiento de los 65 a 86 DDS los valores para obtener el mayor rendimiento fueron las 48 unidades SPAD.

Sin embargo, para el caso de los valores de NO₃⁻ en ECP las concentraciones identificadas difieren de las encontradas por Rosolem *et al.* (2006). En sus experimentos, ellos encontraron concentraciones de NO₃⁻ superiores a los 9500 mg L⁻¹. En este sentido López *et al.* (2010) indican que este cultivo en particular, muestra una gran variación en los contenidos de NO₃⁻ en el ECP. Mencionan que existe mucho efecto de la variedad utilizada y de las condiciones agroecológicas en las cuales se desarrolla el cultivo. Más estudios son requeridos para integrar una base de datos mayor que resulte confiable para monitorear la nutrición nitrogenada del cultivo de algodón bajo condiciones del valle de Mexicali, Baja California.

Referente a la diferencia en rendimiento por efecto de la forma de riego utilizado en ambos experimentos (riego rodado y goteo), aunque se utilizó más cantidad de agua de riego en el experimento FRG, la EU_A fue mayor que en el experimento de FRR. Lo anterior ha sido corroborado por Ibragimov *et al.* (2007) quienes identificaron valores de la EU_A del orden del 35 a 103%, al comparar producción de algodón bajo riego rodado contra riego goteo. Por otra parte, Hussein *et al.* (2011) encontraron que el número y peso de los frutos de algodón se incrementó por efecto de un mayor volumen de agua de riego aplicado al cultivo.

CONCLUSIONES

En conclusión, se encontró que el rendimiento en el cultivo de algodón fue dependiente de la fertilidad inicial del suelo, específicamente la cantidad de nitrógeno (N) y la concentración de materia orgánica (MO), lo que a su vez influyó la eficiencia agronómica del N (EAN). Los valores del índice de clorofila (SPAD) y concentraciones de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo (ECP) se relacionaron significativamente con el rendimiento, independientemente de la dosis de fertilizante con N aplicado. Así mismo, aunque las plantas crecieron y se desarrollaron igual en ambos experimentos [riego rodado (FRR) y riego por goteo (FRG)], se encontró diferencia en rendimiento influenciado principalmente por el sistema de riego utilizado además de que se incrementó la eficiencia en el uso del agua (EU_A).

LITERATURA CITADA

- Andrews, S. S., J. P. Mitchell, R. Mancinelli, D. L. Karlen, T. K. Hartz, W. R. Horwath, G. S. Pettygrove, K. M. Scow, and D. S. Munk. 2002. On-Farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agron. J.* 94: 12-23.
- Araújo, É. de O., M. A. Camacho, and M. M. Vincensi. 2013. Nitrogen use efficiency by cotton varieties. *Rev. Cienc. Agr.* 36: 10-16. <Go to ISI>://SCIELO:S0871-018X2013000100003.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2017. Tabla de precios de cobertura en algodón. <https://info.aserca.gob.mx/coberturas/algodon.pdf> (Consulta: noviembre 29, 2018).
- Baligar, V. C., N. K. Fageria, and Z. L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 921-950. doi: 10.1081/CSS-100104098.
- Barré, P., C. Montagnier, C. Chenu, L. Abbadie, and B. Velde. 2008. Clay minerals as a soil potassium reservoir: Observation and quantification through X-ray diffraction. *Plant Soil* 302: 213-220. doi:10.1007/s11104-007-9471-6.
- Blaise, D., J. V. Singh, A. N. Bonde, K. U. Tekale, and C. D. Mayee. 2005. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fibre quality and nutrient balance of rainfed cotton (*Gossypium Hirsutum*). *Bioresour. Technol.* 96: 345-349. doi:10.1016/j.biortech.2004.03.008.
- Bronson, K. F. 2008. Nitrogen use efficiency of cotton varies with irrigation system. *Better Crops* 92: 20-22.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Colección INCAPA. México, D. F.
- Chenu, C., Y. Le Bissonnais, and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1479-1486. doi:10.2136/sssaj2000.6441479x.
- Halevy, J., A. Marani, and T. Markovitz. 1987. Growth and NPK uptake of high-yielding cotton grown at different nitrogen levels in a permanent-plot experiment. *Plant Soil* 103: 39-44. doi:10.1007/BF02370665.
- Hao, X. and C. Chang. 2003. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agric. Ecosyst. Environ.* 94: 89-103. doi:10.1016/S0167-8809(02)00008-7.
- Hartz, T. K., W. E. Bendixen, and L. Wierdsma. 2000. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production. *HortScience* 35: 651-656.
- Herrera-Andrade, J. L., S. de C. Guzmán-Ruiz y E. Loza-Venegas. 2010. Guía para producir algodón en el Valle de Mexicali, B. C. y San Luis Río Colorado, Son. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle de Mexicali. Folleto para productores Núm. 54. Mexicali, B.C., México. ISBN 978-607-425-319-1.
- Hochmuth, G. J. 1994. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology* 4: 218-22.
- Hood, R. C. The effect of soil temperature and moisture and organic matter decomposition and plant growth. *Isotopes Environ. Health Stud.* 34: 25-41. doi: 10.1080/10256010108033279.
- Hou, Z., P. Li, B. Li, J. Gong, and Y. Wang. 2007. Effects of fertigation scheme on N uptake and N use efficiency in cotton. *Plant Soil* 290: 115-26. doi:10.1007/s11104-006-9140-1.
- Hussein, F., M. Janat, and A. Yakoub. 2011. Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation. *Turk. J. Agric. For.* 35: 611-621. doi:10.3906/tar-1008-1138.
- Ibragimov, N., S. R. Evett, Y. Esanbekov, B. S. Kamilov, L. Mirzaev, and J. P. A. Lamers. 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agric. Water Manage.* 90: 112-120. doi: 10.1016/j.agwat.2007.01.016.
- Lazicki, P. and D. Geisseler. 2016. Soil nitrate testing supports nitrogen management in irrigated annual crops. *Calif. Agric.* 71: 90-95. doi:10.3733/ca.2016a0027.
- Leiros, M. C., C. Trasar-Cepeda, S. Seoane, and F. Gil-Sotres. 1999. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biol. Biochem.* 3: 327-335. doi: 10.1016/S0038-0717(98)00129-1.
- López, M., A. de Castro, J. C. Gutiérrez, and E. O. Leidi. 2010. Nitrate and potassium concentrations in cotton petiole extracts as influenced by nitrogen fertilization, sampling date and cultivar. *Span. J. Agric. Res.* 8: 202-209. <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/1159>.
- Rosolem, C. A. and V. van Mellis. 2010. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 34: 1601-1607.
- Schwab, G. J., G. L. Mullins, and C. H. Burmester. 2000. Growth and nutrient uptake by cotton roots under field conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 149-64. doi:10.1080/00103620009370426.
- Sharpley, A. N. 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 905-911. doi:10.2136/sssaj1985.03615995004900040023x.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Avances de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (Consulta: enero 4, 2019).
- Tejada, M. and J. L. Gonzalez. 2003. Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.* 19: 357-368. doi:10.1016/S1161-0301(02)00089-8.
- Wang, X., D. Cai, W. B. Hoogmoed, U. D. Perdok, and O. Oenema. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 79: 1-16. doi:10.1007/s10705-007-9113-7.
- Wolf, D. and A. Otero. 2016. Mexico cotton and products annual: 2016 Cotton and Products Annual Mexico.GAIN Report Number: MX6010. United States Department of Agriculture. <https://www.fas.usda.gov/data/mexico-cotton-and-products-annual-0> (Consulta: 11 de mayo, 2017).