

# Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT)

Nitrogen in wheat and its effect on yield, nitrate and potassium concentrations on extract cellular of stem (ECS)

Raúl Leonel Grijalva-Contreras\*, Fabián Robles-Contreras\*, Rubén Macías-Duarte\*, Jesús Santillano-Cázares\*\*, Fidel Núñez-Ramírez\*\*\*<sup>†</sup>

## RESUMEN

La utilización de fertilizante nitrogenado es esencial para optimizar los rendimientos en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.); su manejo eficiente logra incrementar los rendimientos y reducir los costos de producción. Se realizó un experimento con el objetivo de identificar la respuesta en rendimiento del cultivo de trigo a dosis de nitrógeno (0 kg N ha<sup>-1</sup> – 460 kg N ha<sup>-1</sup>) e identificar las concentraciones de nitrato y potasio en el extracto celular de tallo (ECT) asociadas al rendimiento. Se identificó la concentración de nitrato y potasio en ECT a los 81, 101 y 121 días después de la siembra (DDS). Los resultados mostraron que el número de espiguillas por espigas se incrementó conforme aumentó la dosis de nitrógeno, mientras que el mayor rendimiento de grano (8.7 t ha<sup>-1</sup>) se obtuvo a la dosis de 230 kg de N ha<sup>-1</sup>. Solo las concentraciones de nitrato en ECT estuvieron relacionadas con los rendimientos, mostrando valores de R<sup>2</sup> de 0.70, 0.76 y 0.74 a los 81, 101 y 121 días DDS. Se concluyó que para obtener altos rendimientos, las concentraciones de nitrato en ECT deberán encontrarse entre los 4000 mg L<sup>-1</sup> – 5500 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup> – 850 mg L<sup>-1</sup> y 400 mg L<sup>-1</sup> – 500 mg L<sup>-1</sup> en las fechas anteriormente mencionadas.

## ABSTRACT

Nitrogen fertilizer use is essential for optimizing yield on wheat (*Triticum aestivum* L.), so that an efficient management increases yield and reduces inputs. A field experiment was conducted aiming to identify yield response of wheat to nitrogen fertilizer levels (0 kg N ha<sup>-1</sup> – 460 kg N ha<sup>-1</sup>), and to identify nitrate and potassium concentrations on extract cellular of stem (ECS) associated at high yields. Samples of stem wheat plants were employed to identify nitrate and potassium concentration on ECS as follow: 81, 101 and 121 days after seeding (DDS). Maximum yield (8.7 t ha<sup>-1</sup>) was obtained with 230 kg of N ha<sup>-1</sup>, whereas spikelets per spike were as high nitrogen dose was increased applied. Nitrate but not potassium concentrations on ECT correlated well with high relative yields showing R<sup>2</sup> values of 0.70, 0.76 and 0.74 at 81, 101 and 121 DDS respectively. It is concluded that, to achieve acceptable grain yield, concentrations of nitrate on ECT should be between 4000 mg L<sup>-1</sup> – 5500 mg L<sup>-1</sup>, 600 mg L<sup>-1</sup> – 850 mg L<sup>-1</sup> and 400 mg L<sup>-1</sup> – 500 mg L<sup>-1</sup> at mentioned above dates.

Recibido: 26 de agosto de 2015  
Aceptado: 15 de septiembre de 2016

### Palabras clave:

*Triticum aestivum*; análisis de tejido; nitrógeno en el cultivo; nutrición mineral; nitratos; potasio.

### Keywords:

*Triticum aestivum*; tissue testing; crop N status; mineral nutrition; nitrates; potassium.

### Cómo citar:

Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., Macías-Duarte, R., Santillano-Cázares, J., & Núñez-Ramírez, F. (2016). Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT). *Acta Universitaria*, 26(5), 48-54. doi: 10.15174/au.2016.963

## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más importantes utilizados como alimento en el mundo. En la temporada 2011-2012, México cultivó una superficie aproximada de 622 480 ha, con una producción anual de 3 571 002 t de grano, resultando un promedio de rendimiento de 5.73 ton ha<sup>-1</sup> (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2012). Usualmente, los mayores rendimientos son obtenidos en regiones áridas del noroeste de México, alcanzando promedios de 6500 kg ha<sup>-1</sup> (Salinas, Lurch & Fogel, 2006). Existen diversos factores que tienen influencia en

\* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Costa de Hermosillo, Sitio Experimental Caborca, Apartado Postal 125, H. Caborca, Sonora, México. Tel.: 01 637 372 0623. Correos electrónicos: rgrijalva59mx@hotmail.com; frobles\_cab@hotmail.com; macias.ruben@inifap.gob.mx

\*\* Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC). Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México, C.P. 21705. Tel.: 01 686 523 0079. Correos electrónicos: jsantillano@uabc.edu.mx; fidel.nunez@uabc.edu.mx

<sup>†</sup> Autor de correspondencia.

obtener los altos o bajos rendimientos, sin embargo, el uso de variedades de trigo de bajo potencial de rendimiento y la pobre nutrición del cultivo resultan ser de los más significativos. En este contexto, el nitrógeno es considerado de los más importantes nutrientes, debido a que juega un importante rol en la obtención de altos rendimientos.

Muchos estudios se han realizado con el objetivo de evaluar la mejor dosis de fertilización nitrogenada en trigo (Ali, Mohy-Ud-Din & Ali, 2003; López-Bellido & López-Bellido, 2001). En contraste, al obtener favorables rendimientos con dosis óptimas se ha identificado un bajo uso eficiente de dicho nutriente en el cultivo de trigo, con valores de alrededor de 34% del total de las dosis aplicadas removidas por el grano (Raun & Johnson, 1999). Sin embargo, con el objetivo de ahorrar costos económicos en la aplicación de fertilizantes en la agricultura, un método ha sido desarrollado para monitorear la nutrición con nitrógeno o potasio en varios cultivos extensivos y hortícolas. Este método consiste en utilizar medidores portátiles de fácil uso y determinar la relación existente entre la cantidad de nitrato y potasio en el extracto celular y el rendimiento relativo (Castellanos, Uvalle-Bueno & Aguilar-Santelises, 2000). Dependiendo de las concentraciones encontradas en el extracto celular, se determina la dosis de nutriente a aplicar. Debido a que el diagnóstico se realiza en campo, la recomendación se lleva a cabo al instante y el problema se corrige sin alcanzar a afectar negativamente los rendimientos (Muñoz-Huerta, Guevara-González, Contreras-Medina, Torres-Pacheco, Prado-Olivarez & Ocampo-Velázquez, 2013).

Esta tecnología ha sido validada exitosamente en varios cultivos, por ejemplo, Delgado & Follett (1998) evaluaron la técnica utilizando el sensor Cardy-ion meter en  $N-NO_3$  colectados en tejido fresco de cultivos extensivos (*Triticum aestivum* L. y *Secale cereale* L.), crecidos en campos del Valle de Colorado en Estados Unidos de América, y lo compararon con el tradicional análisis de nitrógeno en tejido seco. Estos investigadores reportaron que dicho método es una herramienta confiable que ayuda a los agricultores a identificar problemas con acumulaciones de niveles tóxicos de  $N-NO_3$  en tejidos de plantas. Por otro lado, Olav (1999), investigando con pruebas rápidas de diagnóstico la concentración de nitrato en el extracto celular de la base del tallo del cultivo de trigo asociadas a altos rendimientos, encontró buenas relaciones entre sí, sobre todo en experimentos a corto plazo. Lo anterior debido a que al relacionar los datos a través de varios años, este tipo de herramienta de diagnóstico resultaba un poco afectada.

La utilización de este tipo de tecnologías de diagnóstico nutrimental deberá considerar la interacción sinérgica entre otros nutrientes al hacer la interpretación de los resultados (Janssen, 1998). Por ejemplo, Lu, Li & Zhang (2005) estudiaron la aplicación de dosis de dos nitrógenos aplicados al cultivo de tabaco, y encontraron que al incrementar la dosis de nitrógeno al cultivo incrementaba la transpiración, pero a la vez modificaba la concentración de potasio en los tallos, las raíces y las hojas.

Actualmente, los productores de trigo del noroeste de México han experimentado problemas económicos por los altos costos de producción derivados, entre otros, por los fertilizantes nitrogenados aplicados al cultivo. Un adecuado manejo del nitrógeno en trigo debería incluir un análisis nutrimental del suelo previo a la siembra, considerar la época de aplicación de fertilizantes de acuerdo con la etapa de crecimiento del cultivo, y el monitoreo de la nutrición nitrogenada en el extracto celular del tallo. En este contexto, es necesario evaluar esta última tecnología para el cultivo de trigo, tomando en consideración el genotipo, estado fenológico y condiciones edafoclimáticas en particular (Lobell, Ortiz-Monasterio & Asnera, 2004). El objetivo de esta investigación fue: a) identificar la respuesta en rendimiento por efecto de la fertilización con nitrógeno y b) identificar las concentraciones de nitratos y potasio en el extracto celular del tallo asociadas a altos rendimientos en la variedad "Tacupeto" en trigo cultivado en ambientes del noroeste de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue conducido en un campo comercial localizado en Caborca, Sonora, México (30°34'01" N, 112°21'08" O), durante el periodo de invierno-primavera del 2010 al 2011. La siembra se realizó en un suelo arenoso con un contenido de materia orgánica de 0.54%, pH alto (8.28), bajo en conductividad eléctrica (0.73 dS  $m^{-1}$ ), con un promedio de 19.7 mg  $kg^{-1}$  de nitrógeno inorgánico, 3488 mg  $kg^{-1}$  y 1177 mg  $kg^{-1}$  de calcio y magnesio; lo anterior en los primeros 30 cm de suelo. Se utilizó una densidad de siembra de 200 kg  $ha^{-1}$ , de semilla de trigo de la variedad "Tacupeto", la cual es una variedad de trigo harinero de hábito de crecimiento primaveral que se originó de la selección en poblaciones segregantes (Camacho-Casas, Figueroa-López, Huerta-Espino, Fuentes-Dávila & Monasterio, 2003).

El experimento se condujo bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las

dosis evaluadas fueron 0 kg ha<sup>-1</sup>, 115 kg ha<sup>-1</sup>, 230 kg ha<sup>-1</sup> y 460 kg ha<sup>-1</sup>, en forma de urea (46-00-00) fraccionada durante la estación del cultivo y aplicada en cada riego, siguiendo la distribución de la tabla 1. No se aplicó fertilizante fosforado ni potásico, debido a que el análisis de suelo reportó cantidades consideradas suficientes para el crecimiento del cultivo (27.9 mg kg<sup>-1</sup> y 882 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo-Bray y potasio) (Castellanos *et al.*, 2000). El cultivo recibió cinco eventos de riegos utilizando agua de pozo, los cuales se realizaron cuando el suelo alcanzó una tensión de humedad de 30 kPa, de acuerdo con tensiómetros ubicados a una profundidad de 30 cm. La calidad del agua mostró una conductividad de 1.28 dS m<sup>-1</sup>, 6.98 de pH, 8 ppm de potasio y 30 mg L<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub>. La cosecha del trigo se realizó a los 152 días después de la siembra (DDS), cuando el grano estuvo completamente maduro. Se midieron parámetros de rendimiento como espiguillas por espiga, peso de 1000 granos y espigas por metro cuadrado. Adicionalmente, en tres ocasiones (41, 81 y 101 DDS) durante la mañana (8:00 h – 10:00 h) se muestreó la base del tallo de plantas y se les determinó la concentración de nitrato y potasio en el extracto celular. Los tallos fueron picados y el extracto se realizó con una prensa para ajos. La determinación se realizó con un ionímetro portátil de fácil uso (Horiba, Kyoto, Japan). Los valores fueron graficados *versus* rendimiento relativo. Las concentraciones de nitratos y potasio asociadas al 90 y 100% de rendimiento relativo se denominaron rangos de suficiencia, de acuerdo con procedimiento empleado por Dow & Roberts (1982). El resto de las variables se analizó a través de regresión utilizando Minitab®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento y parámetros de rendimiento

La tabla 2 muestra el rendimiento, número de espigas, espiguillas por espiga y peso del grano de trigo por el efecto de la aplicación de nitrógeno. Los rendimientos obtenidos en todos los tratamientos evaluados fueron superiores a la media nacional y regional (Salinas *et al.*, 2006; SIAP, 2012), fluctuando los valores entre 5.9 t ha<sup>-1</sup> y 8.7 t ha<sup>-1</sup>. La obtención de un alto rendimiento en el tratamiento testigo podría obedecer a la alta concentración de nitrógeno inorgánico presente en el perfil del suelo (19.7 mg kg<sup>-1</sup> suelo), lo que en teoría debería asumirse una cantidad de 60 kg de N disponible al momento de la siembra (Castellanos *et al.*, 2000); asimismo, la consideración de 30 mg L<sup>-1</sup> de nitratos en el agua de riego supone una cantidad de alrededor de 70 kg de nitrógeno en la lámina de agua de riego aplicada durante el tiempo que duró el experimento.

**Tabla 1.**  
Calendario de fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo.

Fecha	Días después de la siembra	Días grado <sup>2</sup>	Nitrógeno (kg ha <sup>-1</sup> )			
			0	115	230	460
16 de diciembre	0	0	0	34	69	138
9 de enero	23	267	0	12	23	46
24 de enero	38	495	0	34	69	138
14 de febrero	59	766	0	23	46	92
12 de marzo	85	1200	0	12	23	46

<sup>2</sup>: días grado = (temperatura máxima + temperatura mínima)/2 – temperatura base; temperatura base: 0 °C.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.**  
Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en trigo.

Dosis de nitrógeno (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )	Espigas m <sup>2</sup>	Espiguillas por espiga	Peso de 1000 semillas (g)
0	5.9	368	15.7	48
115	7.5	411	15.9	46.1
230	8.7	470	16.6	40.7
460	7.7	480	17.4	41.5
Significancia				
Lineal	NS	*	*	*
Cuadrática	**	**	NS	NS

\*Significante a  $p < 0.05$ ; \*\*significante a  $p < 0.01$ ; NS no significativo.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de nitrógeno incrementó en forma cuadrática el rendimiento y el número de espigas m<sup>2</sup>, sin embargo, el peso de grano y el número de espiguillas por espiga resultaron afectadas en forma lineal (tabla 2). Según Guarda, Padovana & Delogu (2004), en trigo, el número de espigas, espiguillas por espiga y peso del grano son los parámetros que principalmente afectan el rendimiento. Dichas variables pueden ser grandemente condicionadas por la suplementación adecuada de agua de riego y condiciones ambientales (Elhani, Martos, Rharrabti, Royob & García, 2007; Sharma, 1994). Dichas situaciones fueron controladas en este estudio al mantener tensiones de humedad constante (30 kPa).

En este experimento, la dosis de nitrógeno de 230 kg ha<sup>-1</sup> resultó en un rendimiento del orden de las 8.7 t ha<sup>-1</sup>, no obstante, incrementos de 460 kg N ha<sup>-1</sup> tuvieron un impacto negativo al reducir los rendimientos a 7.7 t ha<sup>-1</sup>. Estos resultados están en acuerdo con aquellos obtenidos por Kirda, Derici & Schepers

(2001), quienes encontraron una respuesta negativa al aplicar dosis de nitrógeno por encima de los 200 kg ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, dosis bajas de nitrógeno pueden inducir o determinar el estado avanzado de la fenología en el cultivo, afectando, a su vez, el inicio de la antesis y floración (Fois, Motzo & Giunta, 2009) y, en consecuencia, el desarrollo de espiguillas se ve afectado por las condiciones avanzadas de clima cálidas del ambiente que usualmente predominan (Elhani *et al.*, 2007; Sharma, 1994).

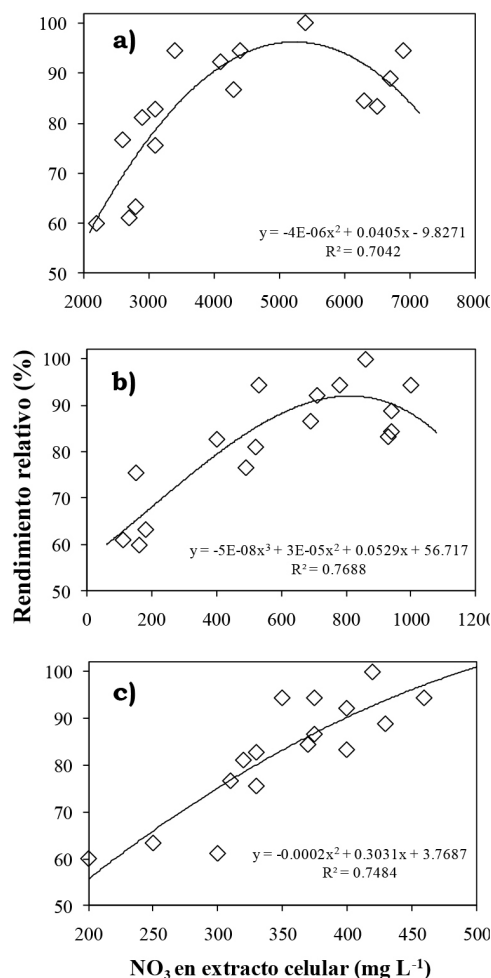
El número de espigas por metro cuadrado y el número de espiguillas por espiga resultaron positiva y linealmente afectadas por el incremento en las dosis de nitrógeno aplicadas (tabla 2). Investigaciones realizadas por Langer & Liew (1973), evaluando los efectos de variar la suplementación de nitrógeno aplicado a diferentes estados de crecimiento del cultivo de trigo, revelaron que el número de espiguillas se incrementa con el incremento de nitrógeno aplicado al cultivo, produciendo también un mayor número de hojas y, por tanto, afectando el rendimiento. Rodrigues, Barreneche-Lhamby, Didonet & Marchese (2007) mencionan que en cultivares actuales de trigo, el número de granos por metro cuadrado se encuentra mayormente correlacionado con el número de granos por espiga. Asimismo, Ali *et al.* (2003), evaluando dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de grano, encontraron que el rendimiento de grano depende mayormente del peso de grano y el número de espigas por metro cuadrado.

En este experimento, los rendimientos más bajos (5.9 t ha<sup>-1</sup>) fueron precedidos por el peso del grano (48.0 g de 1000 semillas); y contrario a Ali *et al.* (2003), los mayores rendimientos (8.7 t ha<sup>-1</sup>) fueron con granos de trigo con menor peso (40.7 g de 1000 semillas), lo que indica que el principal parámetro que afectó el rendimiento en este estudio fue el número de espigas por metro cuadrado y el número de espiguillas por espiga y, consecuentemente, el número de granos por metro cuadrado. Los resultados encontrados en este estudio son reforzados con la revisión de Sinclair & Jamieson (2006), quienes explican que el nitrógeno aplicado al cultivo de trigo tiene un papel importante sobre el desarrollo de floretes y consiguientemente con el rendimiento.

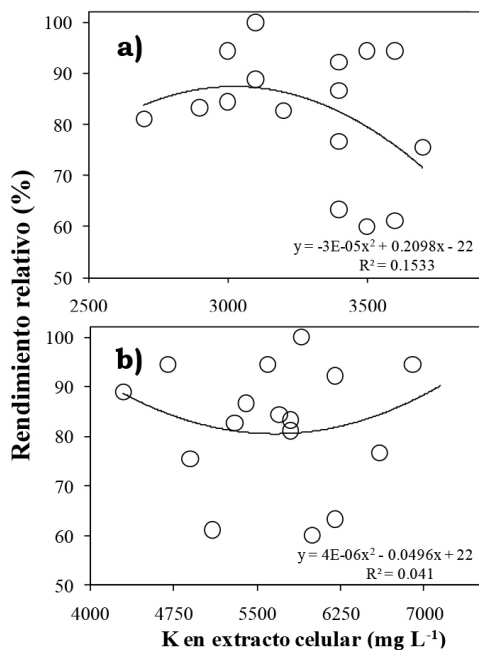
### Concentración de nitratos en ECT

Las figuras 1a, 1b y 1c muestran la relación obtenida entre las concentraciones de NO<sub>3</sub> en ECT y el rendimiento relativo del cultivo de trigo a los 41, 81 y 101 DDS. Al inicio del ciclo de crecimiento, las concentraciones de NO<sub>3</sub> en el extracto presentaron los valores

más altos y estuvieron en el orden de los 2000 mg L<sup>-1</sup> y 7000 mg L<sup>-1</sup>. Para los 81 y 101 DDS, el decremento de los valores se presentó de forma pronunciada, alcanzando valores de 150 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub> a 1000 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub> y 200 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub> a 475 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>. Existen estudios de investigadores en los cuales se han reportado decrementos en la concentración de NO<sub>3</sub> conforme transcurre la estación de crecimiento, como el caso de los cultivos de cebada (Thompson, Ottman & Riley-Saxton, 2004) y trigo (Doerge & Ottman, 1986). En las determinaciones realizadas por estos investigadores se ha encontrado una correlación significativa entre el rendimiento y las concentraciones de NO<sub>3</sub> en ECT (R<sup>2</sup> ≥ 0.70), lo que refuerza los hallazgos de este experimento sobre esta herramienta de diagnóstico rápido útil para predecir los rendimientos.



**Figura 1.** Relación entre la concentración de NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tallo y el rendimiento relativo en trigo a los a) 41 DDS, b) 81 DDS y c) 101 DDS. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2.** Relación entre la concentración de K en el extracto celular de tallo y el rendimiento relativo en trigo a los a) 41 DDS y b) 81 DDS.  
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.**  
Rangos de suficiencia en el extracto celular de tallo en el cultivo de trigo.

Días después de la siembra	Días grado <sup>z</sup>	NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>3</sub>
		mg L <sup>-1</sup>	
41	328	4000 – 5500	900 – 1250
81	733	600 – 850	135 – 190
101	987	400 – 500	90 – 110

<sup>z</sup> Días grado = (temperatura máxima + temperatura mínima) / 2 – temperatura base; temperatura base: 0 °C.  
Fuente: Elaboración propia.

Los rangos de referencia asociados al 90% – 100% del rendimiento encontrados en este estudio estuvieron en el orden de los 4000 mg L de NO<sub>3</sub> – 5500 mg L de NO<sub>3</sub>, 600 mg L de NO<sub>3</sub> – 850 mg L de NO<sub>3</sub> y 400 mg L de NO<sub>3</sub> – 500 mg L de NO<sub>3</sub>, para los 41, 81 y 101 DAS (tabla 3). Estos valores resultaron ser mucho más bajos que aquellos reportados por Doerge & Ottman (1986), quienes reportaron cantidades de 14 000, 11 500 y 5700 para las mismas fechas de crecimiento del cultivo.

En un estudio realizado bajo las condiciones ambientales de Arizona USA, Thompson *et al.* (2004) propusieron que las concentraciones críticas de N-NO<sub>3</sub>,

para el cultivo de cebada bajo riego en los estados de crecimiento de amacollo, aparición del segundo nudo y hoja bandera (47, 83 y 104 DDS), deberían ser de 400 mg L<sup>-1</sup>, 180 mg L<sup>-1</sup> y 130 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, las cuales convertidas a valores de NO<sub>3</sub> estarían en el orden aproximado de los 1770 mg L<sup>-1</sup>, 800 mg L<sup>-1</sup> y 575 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Un aspecto importante a considerar es el hecho de que las concentraciones de nitratos en ECT en trigo dependen principalmente de la variedad, en especial si el objetivo es encontrar mayores concentraciones de proteína en la semilla de trigo (Riley, Thompson, White & Ottman, 1989). La variedad utilizada en este estudio es típicamente cultivada en el noroeste de México y es considerada de alto rendimiento, aunque usualmente se sacrifica la concentración de proteína en el grano (Camacho-Casas *et al.*, 2003; Olav, 1999).

### Concentración de potasio en ECT y crecimiento del cultivo

Durante el manejo de la fertilización nitrogenada, algunos cultivos pueden resultar afectados en su estado nutricional del resto de los nutrientes, como el potasio (Locascio *et al.*, 1997). Por ejemplo, estudios realizados en plántulas de cebada mostraron que la fertilización con nitrógeno en forma de NO<sub>3</sub> mejora la absorción e incrementa la concentración de potasio en la savia (Blevins, Hiatt & Lowe, 1974). En este estudio, la figura 2 muestra la relación encontrada entre la concentración de potasio en ECT y el rendimiento a los 41 y 81 DDS. Los valores obtenidos en ambas fechas no tuvieron relación con el rendimiento del cultivo ( $p > 0.05$ ;  $R^2 < 0.041$ ). Los valores encontrados a los 41 DDS fluctuaron entre los 2700 mg L<sup>-1</sup> K y 3700 mg L<sup>-1</sup> K, mientras que a los 81 DDS estuvieron en el orden de los 4200 mg L<sup>-1</sup> y 6800 mg L<sup>-1</sup>.

La medición de potasio en la fecha de los 101 DDS no se realizó debido a que superó el nivel de lectura del medidor de iones (>9900 mg L<sup>-1</sup> K). Con respecto a la identificación de altas concentraciones de potasio, González-Eguiarte, Alcalde-Blanco, Ortiz-Cereceres & Castillo-Morales (2000) identificaron que la absorción relativa de potasio puede ser triplicada por el cultivo de trigo a los 80 DDS en comparación con aquella que obtiene el cultivo a los 40 DDS. Lo anterior se reflejó en el presente estudio al identificar el incremento de la concentración de potasio en el ECT.

La figura 3 registra la evolución de crecimiento del cultivo expresado en altura. El cultivo presentó un crecimiento sigmoideo consiguiendo la mayor tasa de crecimiento a los 80 DDS, alcanzando

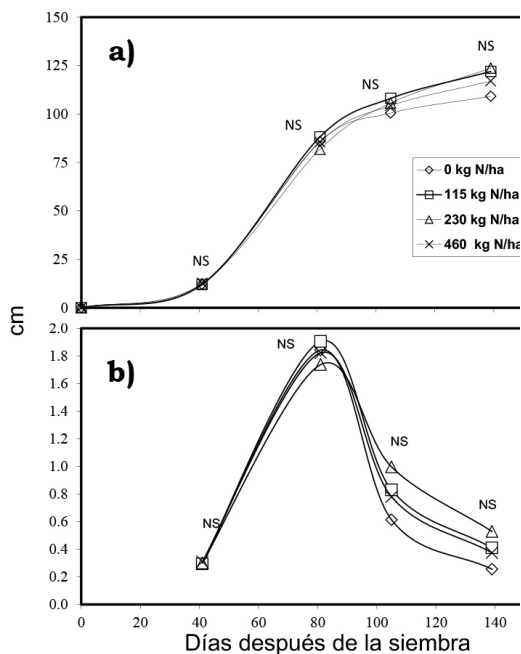
valores de 1.8 cm día<sup>-1</sup> (figura 3b), mientras que el flujo de crecimiento más lento se presentó durante los primeros 40 DDS con tasas de 0.25 cm día<sup>-1</sup>. Al final del estudio, los valores de altura estuvieron entre 109 cm y 123 cm, sin diferencia significativa entre los tratamientos evaluados ( $p > 0.05$ ). Las tasas de crecimiento encontradas en este estudio y la altura final sin diferencia entre tratamientos fertilizados y el testigo pudieron deberse a las cantidades de nitrógeno presente en el suelo desde el inicio del experimento. De acuerdo con Castellanos *et al.* (2000), al momento de la siembra y debido a la condición química, este suelo debió contener aproximadamente 60 kg de nitrógeno inorgánico; asimismo, durante los cinco eventos de riego aplicados al cultivo se depositó una cantidad aproximada de 33 kg de N-NO<sub>3</sub> en el agua de riego, considerando una lámina de riego total de 120 cm, factores a considerar al interpretar los resultados obtenidos en este estudio.

## CONCLUSIONES

La respuesta en rendimiento del cultivo de trigo resultó mayor a dosis de 230 kg ha<sup>-1</sup> de N, dosis superiores redujeron la producción de grano. El número de espigas m<sup>2</sup>, espiguillas por espiga y peso de grano respondieron en forma lineal a las dosis de nitrógeno aplicado. Se encontró una correlación positiva entre los valores de NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tallo y el rendimiento relativo en las tres fechas evaluadas. Los valores encontrados como rangos de suficiencia en NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tallo, para obtener altos rendimientos, en la primera fecha de muestreo (41 DDS) resultaron ser 4000 mg L<sup>-1</sup> – 5500 mg L<sup>-1</sup>, mientras que para los 81 y 101 DDS resultaron ser 600 mg L<sup>-1</sup> – 850 mg L<sup>-1</sup> y 400 mg L<sup>-1</sup> – 500 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. No se observó relación entre el rendimiento del cultivo y la concentración de potasio en el extracto celular de tallo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece infinitamente al I.A. Ramón Ernesto Quiroz Aceves y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO)-Caborca, por las facilidades otorgadas durante la investigación. Asimismo, un agradecimiento al Sr. Javier Gonzales de la Riva y al Sr. Bernabé Zavala Aragón por la asistencia técnica recibida en la toma de datos durante el experimento.



**Figura 3.** Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento del cultivo de trigo; a) crecimiento acumulado y b) flujo diario del crecimiento. Fuente: Elaboración propia.

## REFERENCIAS

- Ali, L., Mohy-Ud-Din, Q., & Ali, M. (2003). Effect of different doses of nitrogen fertilizer on the yield of wheat. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5(4), 438-439.
- Blevins, D. G., Hiatt, A. J., & Lowe, R. H. (1974). The influence of nitrate and chloride uptake on expressed sap pH, organic acid synthesis, and potassium accumulation in higher plants. *Plant Physiol*, 54(1), 82-87.
- Camacho-Casas, M. A., Figueroa-López, P., Huerta-Espino, J., Fuentes-Dávila, G., & Monasterio, I. (2003). *Tacupeto F2001. Nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle del Yaqui (folleto técnico núm. 50).
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP* (2da. ed.) (201 pp.). México: Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura.
- Delgado, J. A., & Follett, R. F. (1998). Sap test to determination nitrate-nitrogen concentrations in aboveground biomass of winter cover crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(5-6), 545-559.
- Doerge, T. A., & Ottman, M. (1986). *Predicting the nitrogen needs of wheat using stem nitrate analysis*. Forage and Grain, Cooperative Extension, Ag. Expt. Sta. (pp. 69-75). Report Series P-66, Univ, AZ, Tucson.

- Dow, A. I., & Roberts, S. (1982). Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal*, 74(2), 401-403.
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabti, Y., Royob, C., & García del Moral, L. F. (2007). Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research*, 103(1), 25-35.
- Fois, S., Motzo, R., & Giunta, F. (2009). The effect of nitrogenous fertilizer application on leaf traits in durum wheat in relation to grain yield and development. *Field Crops Research*, 110(1), 69-75.
- González-Eguiarte, D. R., Alcalde-Blanco, S., Ortiz-Cereceres, J., & Castillo-Morales, A. (2000). Dinámica de la acumulación de potasio por trigo cultivado en diferentes ambientes. *Agrociencia*, 34(1), 1-11.
- Guarda, G., Padovana, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21(2), 181-192.
- Janssen, B. H. (1998). Efficient use of nutrients: an art of balancing. *Field Crops Research*, 56(1-2), 197-201.
- Kirda, C., Derici, M. R., & Schepers, S. J. (2001). Yield response and N-fertilizer recovery of rainfed wheat growing in the Mediterranean region. *Field Crops Research*, 71(2), 113-122.
- Langer, R. H. M., & Liew, F. K. Y. (1973). Effects of varying nitrogen supply at different stages of the reproductive phase on spikelet and grain production and on grain nitrogen in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 24(5), 647-656.
- Lobell, D. B., Ortiz-Monasterio, J. I., & Asnera, G. P. (2004). Relative importance of soil and climate variability for nitrogen management in irrigated wheat. *Field Crops Research*, 87(2-3), 155-165.
- Locascio, J. S., Hochmuth, G. J., Rhoads, F. M., Olson, S. M., Smajstrla, A. G., & Hanlon, E. A. (1997). Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. *Hortscience*, 32(2), 230-235.
- López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, 71(1), 31-46.
- Lu, Y. X., Li, C. J., & Zhang, F. S. (2005). Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Annals of Botany*, 95(6), 991-998.
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-González, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., & Ocampo-Velázquez, R. V. (2013). A Review of Methods for Sensing the Nitrogen Status in Plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances. *Sensors*, 13(8), 10823-10843. doi: 10.3390/s130810823
- Olav, H. B. (1999). Determination of nitrogen status in winter wheat by measuring basal stem tissue sap nitrate concentration. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 49(2), 82-91.
- Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91(3), 357-363.
- Riley, E. A., Thompson, T. L., White, S. A., & Ottman, M. J. (1989). Late season tissue tests for critical grain protein content in durum, Maricopa, 1998. *Forage and Grain Agriculture Report*. College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona, 85721.
- Rodrigues, O., Barreneche-Lhamby, J. C., Didonet, A. D., & Marchese, J. A. (2007). Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(6), 817-825.
- Salinas, Z. C., Luch, C. S. E., & Fogel, I. (2006). Historic development of winter wheat-yields in five irrigation districts in the Sonora Desert Mexico. *Interciencia*, 31(4), 254-261.
- Sharma, R. C. (1994). Tiller mortality and its relationship to grain yield in spring wheat. *Field Crops Research*, 41(1), 55-60.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2012). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 2 de febrero de 2012 de [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=272](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=272)
- Sinclair, T. R., & Jamieson, P. D. (2006). Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research*, 98(1), 60-67.
- Thompson, T. L., Ottman, M. J., & Riley-Saxton, E. (2004). Basal stem nitrate test for irrigated malting barley. *Agronomy Journal*, 96(2), 516-524.