

Capacidad de un sensor óptico terrestre como herramienta para detectar deficiencia de nitrógeno en el cultivo de algodón

Capacity of a terrestrial optical sensor as a tool to detect nitrogen deficiency in cotton crop

Juan José Bonnin^{1*}, Rubén Franco Ibars¹, Pedro Aníbal Vera Ojeda² y Juan Daniel Avalos³

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Ingeniería Agrícola. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Protección Vegetal. San Lorenzo, Paraguay.

³ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Economía Rural. Santa Rosa, Misiones, Paraguay.

***Autor para correspondencia:**
jose.bonnin@hotmail.com

Conflicto de interés:
Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Licencia:
Creative Commons CC-BY

Historial:
Recibido: 09/04/18;
Aceptado: 16/05/19

Periodo de Publicación:
Enero-Junio de 2019

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la variación de dosis de nitrógeno (N) en las propiedades de reflectancia del cultivo de algodón, a través de un sensor óptico. La investigación fue realizada en el campo experimental de la FCA/UNA. Filial Santa Rosa, Misiones. Los cultivares de algodón evaluados fueron IAN-425 e IPTA-212. Las dosis de nitrógeno utilizadas fueron de 0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg ha⁻¹, utilizando como fuente del N la urea. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar en parcelas divididas, donde las parcelas principales fueron los cultivares y las subparcelas la dosis de N. Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza y las variables con diferencias significativas comparadas por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los valores de NDVI obtenidos por el sensor fueron influenciados significativamente ($p < 0,05$) en función de las dosis de N aplicado a la planta, a partir de las evaluaciones realizadas a los 76 DDE, independientemente del tipo de cultivar, donde fueron registrados los mayores valores espectrales (0,85 y 0,84) con la dosis de N de 250 kg ha⁻¹. No se detectaron diferencias significativas en el rendimiento de fibra en rama entre los cultivares, como también en la interacción de los factores estudiados (Cultivar x Dosis). Se resalta que el rendimiento promedio del cultivar IAN-425 fue de 3.143,17 kg ha⁻¹ y por su vez, el cultivar IPTA-212 y se obtuvo un rendimiento promedio de 3.036,91 kg ha⁻¹, resultados que superan ampliamente el rendimiento promedio nacional de 1.180 kg ha⁻¹ para la zafra 2015/2016.

Palabras clave: *Gossypium hirsutum* L, estado nutricional, NDVI

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the effect of the nitrogen dose variation (N) on the reflectance properties of the cotton por culture, through an optical sensor. The research was conducted in the experimental field of the FCA/UNA. Subsidiary Santa Rosa, Misiones. The cotton cultivars evaluated were IAN-425 and IPTA-212. The doses of N used were 0, 50, 100, 150, 200 and 250 kg ha⁻¹, in the form of urea, with an experimental design of random blocks in divided plots, where the main plots were the cultivars and the subplots by the dose of N. The results were subjected to a comparison of means (Tukey $p < 0.05$). The NDVI values obtained by the sensor were significantly influenced ($p < 0.05$) as a function of the N doses applied to the plant, based on the evaluations made at 76 DDE, regardless of the type of cultivar, where they were recorded. the highest spectral values (0.85 and 0.84) with the N dose of 250 kg ha⁻¹. In spite of not detecting significant differences between the cultivars, neither in the doses of nitrogen applied to the plants, as well as in the interaction of the studied factors (Cultivar x Dosage) in the yield of fiber in branch, we can emphasize that the average yield of the cultivar IAN-425 was 3,143.17 kg ha⁻¹ and in turn, the cultivar IPTA-212 obtained an average yield of 3,036.91 kg ha⁻¹, results that far exceed the national average yield of 1,180 kg ha⁻¹ for the harvest 2015/2016.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L, nutritional status, NDVI

INTRODUCCIÓN

La aplicación de insumos agrícolas a tasa variable es una práctica que va tomando fuerza y tornándose esencial en la agricultura moderna, buscando incrementar la productividad y la reducción del riesgo de contaminación ambiental (Amaral & Molin, 2011).

Actualmente, existen varias propuestas de manejo localizado de fertilizantes para su posterior aplicación a tasa variable, donde se destacan las técnicas de acompañamiento del cultivo de manera a verificar minuciosamente el desarrollo y respuesta a la aplicación de fertilizantes a la planta a través de la reflectancia espectral, que ha demostrado ser una herramienta promisoriosa para el monitoreo del índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI), índice de área foliar (IAF), índice de biomasa y otros parámetros agronómicos como clorofila, inclusive estimación de la productividad de un cultivo.

El índice NDVI fue propuesto por Rouse, Haas, Schell & Deering (1974), y se basa en la relación normalizada de dos bandas espectrales, del rojo y rojo lejano, siendo calculados por la diferencia entre ellas y dividida por la suma de estos. Éste, es uno de los índices más utilizados para la evaluación de biomasa, nitrógeno foliar y productividad en granos de trigo de acuerdo con Moges et al. (2004).

En el mercado existe una serie de equipos o sensores ópticos que se basan en la reflectancia espectral producidas por las hojas, que pueden determinar el contenido de clorofila y este a su vez, el contenido de nitrógeno (N) en la planta. El N es uno de los nutrientes esenciales en el desarrollo de cualquier cultivo y su mal manejo puede causar problemas de mineralización, lixiviación, volatilización, desnitrificación y crecimiento excesivo de la planta, disminución en el rendimiento (Rosa et al., 2012). La deficiencia o exceso del N pueden afectar negativamente el desarrollo de los órganos vegetativos del cultivo de algodón, clorosis en las hojas, retardo en los capullos, disminución de la productividad y en la calidad de la fibra (Brandão, 2009).

Es de fundamental importancia el monitoreo de los niveles de N en el cultivo de algodón y una alternativa válida podría ser a través de la evaluación de reflectancia espectral durante el ciclo

del cultivo, que ofrecería informaciones suplementarias a los análisis de laboratorio de forma a colaborar con las recomendaciones de fertilización nitrogenada en el algodonero. En este sentido Read, Whaley, Tarpley & Reddy (2003), resaltan que cambios en el estado nutricional del algodonero pueden ser determinadas a campo, en tiempo real por medio de mediciones de reflectancia foliar, la cual varía en función de la concentración de clorofila en el tejido foliar, que a su vez está fuertemente asociada al contenido de N foliar.

La eficiencia en la determinación de los índices de vegetación obtenidos a través de sensores ópticos para la evaluación nutricional es objeto de estudio de varios investigadores en diferentes cultivos, como en maíz (Amaral, Molin, Portz & Finazzi, 2015; Vera y Bonnín, 2015), caña de azúcar (Molin, Frasson, Amaral, Povh, e Salvi, 2010; Castro, Nakao, Franco e Magalhães, 2014), trigo (Bonnín, Vera e Franco, 2015; Bredemeier, Almeida, Giordano, Vian e De Jesus, 2014), gramíneas (Monti, Paniagua, Bonnín e Franco, 2016), poroto (Fioresi, Santi, Baron, Brondani e Ceolin, 2014), remolacha (Baesso, Gomes, Barros e Paes, 2014), donde los resultados han demostrado que estos sensores pueden ser adecuados para ser utilizado en el diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutricionales de un cultivo, en tiempo real y acorde con la heterogeneidad espacial siempre presente de los agroecosistemas. La aplicación de esta tecnología puede generar un incremento en la eficiencia del uso racional de fertilizantes, maximizando los lucros y protegiendo el medio ambiente.

El GreenSeeker® es un sensor óptico terrestre que provee un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutricionales, el estado fisiológico, la incidencia de estrés, y el rendimiento potencial de los cultivos (Lan, Zhang, Lacey, Hoffmann & Wu, 2009). Este índice es adjetivado como "normalizado" porque produce valores en el rango del 1 y el -1. El NDVI es un índice que permite integrar y analizar mediciones de luz del rojo y rojo lejano realizadas con sensores remotos o próximos a las plantas, e identificar la presencia de vegetación verde y viva con base en su reflexión en los ámbitos de frecuencia de la luz correspondientes al rojo y rojo lejano (Solari, Shanahan, Ferguson, Schepers & Gitelson, 2008). A diferencia de los

sensores remotos, el cálculo del NDVI determinado con ayuda del GreenSeeker® no es sensitivo a diversas condiciones atmosféricas como la nubosidad y el polvo en suspensión. Sí lo es, al contenido de agua del suelo, la anisotropía de la superficie de interés y la geometría angular de la iluminación y de la observación al momento de la determinación (Montheith & Unsworth, 2008). Siendo así, el objetivo de la presente investigación fue la de evaluar el efecto de la variación de dosis de nitrógeno (N) en las propiedades de reflectancia del cultivo de algodón, a través de un sensor óptico activo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA/UNA), Santa Rosa de Lima, Departamento de Misiones, Paraguay, ubicado a 250 km de Asunción, localizado en la latitud Sur 26°52'50" y longitud Oeste 56°51'48", altitud de 177 m sobre el nivel del mar (Datum WGS 84).

El clima de esta región es cálido y templado (Subtropical húmedo), con una gran precipitación, incluso en el mes más seco y de acuerdo con la clasificación de Köppen es Cfa (Subtropical sin estaciones secas). La temperatura media anual es de 21,5°C. La precipitación media aproximada es de 1.763 mm. El suelo del área experimental fue clasificado como Inceptisol, según López et al. (1995). La textura del suelo fue clasificada como franco arenoso, conforme al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2000). El terreno del área experimental presentaba una superficie plana y uniforme.

Fueron sembrados dos cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) IAN-425 e IPTA-212, en forma manual, con una población de 166.667 plantas por hectárea (Sistema de alta densidad). Durante la siembra fue realizada una fertilización básica de acuerdo con el análisis de suelo realizado, previamente a la implantación del experimento, a fin de uniformizar el área experimental y con la expectativa de producir 4.000 kg ha⁻¹ de algodón en rama.

Las dosis de nitrógeno (N) utilizado durante el experimento fue seis (6); D₁ = 0, D₂ = 50, D₃ = 100, D₄ = 150, D₅ = 200 y D₆ = 250 kg ha⁻¹, en forma de urea, donde la dosis de 0 kg ha⁻¹ correspondió al

testigo. La fertilización fue realizada en el momento de la emergencia del cultivo en bandas laterales, en una única oportunidad.

Para la determinación de la reflectancia espectral del cultivo de algodón fue utilizado un sensor óptico terrestre activo de la marca Trimble, modelo GreenSeeker® Handheld Crop. Este sensor capta la reflectancia del objetivo a través de dos diodos de emisión de radiación, uno en la región del espectro electromagnético centrada en el infrarrojo cercano (IRC, 770 nm) y el otro en la región de tradición entre el rojo y el infrarrojo próximo (R, 660 nm). La lectura de reflectancia fue calculada por un microprocesador interno, que proporciona automáticamente los valores de índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI). El sensor fue desarrollado para coleccionar datos a una altura variable de 60 a 120 cm de distancia del blanco, con un ancho de barrido de 25 a 50 cm. De acuerdo con el fabricante, en este intervalo, las lecturas de NDVI efectuadas por el sensor, no es afectado por la variación de altura. Las lecturas de NDVI fueron realizadas a los 36, 46, 56, 66 y 76 días después de la emergencia (DDE) del cultivo, haciendo un total de 5 evaluaciones durante todo el ciclo fenológico del cultivo.

También fueron determinadas otras características agronómicas de interés para las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente 10 plantas de cada unidad experimental y se evaluaron la altura de plantas y el diámetro del tallo, realizado al finalizar del crecimiento vegetativo de la planta y previo a la cosecha del cultivo. La medición de la altura de plantas (cm), fue hecha desde el suelo hasta la inserción de la última hoja, seguidamente se midió el diámetro del tallo (cm) a unos 5 cm de distancia del suelo.

Posteriormente, se determinaron el número de ramas fructíferas y número de cápsulas emitidas por cada planta. Para la determinación del rendimiento de fibra en rama, se procedió a la cosecha manual, en cada unidad que fue debidamente identificado e impermeabilizado en bolsas plastilleras para la conservación de la fibra hasta el laboratorio para la cuantificación del contenido de agua en la fibra y posterior transformación del valor de cada parcela útil a kg ha⁻¹. Por último, fue determinado el peso de fibra (gr) de 100 cápsulas mediante una balanza electrónica de precisión.

Para evitar cualquier problema de limitación de agua durante el ciclo fenológico del cultivo, fue instalado un sistema suplementario de riego localizado (Goteo), el cual estaba compuesto por un sistema de bombeo y filtrado de agua, una red de tubería principal y secundaria en todas las unidades experimentales y los gateadores. También, fueron tomados todos los cuidados necesarios contra posibles ataques de plagas y enfermedades propios del cultivo de algodón, a fin de evitar cualquier interferencia en el desarrollo del experimento.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar en parcelas divididas, donde las parcelas principales estuvieron constituidas por los cultivares (IAN 425 e IPTA 212) y las subparcelas por las dosis de nitrógeno ($D_1 = 0$, $D_2 = 50$, $D_3 = 100$, $D_4 = 150$, $D_5 = 200$ y $D_6 = 250$ kg ha⁻¹), lo que totaliza doce (12) tratamientos y cuatro (4) repeticiones, totalizando cuarenta y ocho (48) unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro hileras de cultivo de cinco metros de longitud, totalizando un área experimental aproximada de 370 m². Se consideró como área útil las dos hileras centrales, descartando 0,5 metros en los extremos.

Los datos obtenidos fueron ordenados y tabulados en una planilla electrónica (Microsoft Excel 2016) y posteriormente, se evaluó el efecto de los tratamientos y de la relación entre las variables, por medio de un análisis de varianza, verificando la significancia por la prueba F de Fisher y luego la comparación de medias a través de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error experimental. Los análisis fueron realizados con el software estadístico InfoStat Profesional (Di Rienzo et al., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reflectancia espectral del cultivo

El análisis de varianza detectó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las dosis de N aplicada y la respuesta espectral del cultivo de algodón a los valores de índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI) registrado por el sensor óptico terrestre Trimble - GreenSeeker® Handheld Crop a diferentes alturas y en función de esto, fue realizado un análisis de comparación de medias por la prueba de Tukey al 5% de error experimental (Tabla 1).

A partir de las evaluaciones realizadas a los 46 DDE (días después de la emergencia) se fueron detectando diferencias significativas ($p < 0,05$) para los factores cultivares y dosis de nitrógeno aplicado a la planta, independientemente de la altura (60, 90 y 120 cm) de lectura del sensor sobre el cultivo. Para las evaluaciones realizadas a los 36 DDE no presentaron una respuesta significativa en función de las dosis de nitrógeno evaluadas y los cultivares, la cual, pudo deberse al estado inicial del cultivo que presentaba aún un área foliar pequeña (Baja cobertura del suelo), donde el efecto de las diferentes dosis de nitrógeno se torna más difícil de detectar por el sensor, lo que sumado al efecto de la reflectancia del suelo expuesto en las entre líneas por interferencia, que puede verse en la primera evaluación realizada donde fueron registrados valores bajos de NDVI. Resultados semejantes fueron observados por Povh, Molin, Gimenez, Pauletti e Salvi (2008) al analizar el efecto de N sobre los valores de NDVI en cereales y Motomiya et al. (2014) en cultivo de algodón.

Conforme el desarrollo de la parte área (Aumento del área foliar) de la planta, fue posible determinar variaciones significativas a partir de los 46 DDE en la biomasa, para las variables cultivar y dosis de nitrógeno aplicado a la planta, a pesar de solo registrarse estas diferencias en las evaluaciones realizadas con el sensor a una altura de 90 y 120 cm sobre la planta. Se observó un incremento promedio en las lecturas del sensor del orden de 30%, independientemente, de las dosis de nitrógeno utilizadas y época de evaluación.

En la evaluación realizada a los 76 DDE del cultivo, la dosis de 250 kg ha⁻¹ fue la que arrojó el mayor valor de NDVI (0,85), a pesar de que no difirió estadísticamente de las demás dosis estudiadas, pero si fue significativamente superior al valor registrado por el testigo (0 kg ha⁻¹).

Resultados semejantes fueron obtenidos por Motomiya, Molin e Chiavegato (2009) al evaluar bajo condiciones de campo el efecto de la variación de dosis de nitrógeno en la detección foliar de la variedad Delta Opal, utilizando el mismo sensor y también los mayores valores de NDVI que fueron obtenidos con la dosis de 200 kg ha⁻¹. En ninguna de las épocas de evolución y altura de lectura del sensor, se verificó interacción significativa entre los factores estudiados (Cultivar x Dosis).

Tabla 1. Efecto de la dosis de nitrógeno en la reflectancia espectral del algodónero IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis de N kg ha ⁻¹ Cultivar	Valores de NDVI				
	36 DDE	46 DDE	56 DDE	66 DDE	76 DDE
Altura de lectura del sensor sobre el cultivo de 60 cm					
0	0,53 A	0,80 A	0,82 B	0,83 A	0,81 B
50	0,53 A	0,80 A	0,83 A	0,84 A	0,83 AB
100	0,50 A	0,80 A	0,83 A	0,84 A	0,83 AB
150	0,51 A	0,79 A	0,84 A	0,84 A	0,84 A
200	0,57 A	0,80 A	0,84 A	0,84 A	0,84 A
250	0,52 A	0,79 A	0,84 A	0,84 A	0,85 A
IAN-425	0,53 A	0,80 A	0,84 A	0,84 A	0,83 A
IPTA-212	0,52 A	0,79 A	0,83 B	0,84 A	0,83 A
Fc Cultivar (A)	1,58 ^{ns}	7,68 ^{ns}	98,45 [*]	1,74 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Fc Dosis (B)	0,56 ^{ns}	0,16 ^{ns}	5,51 [*]	2,77 ^{ns}	7,24 [*]
Fc Ax B	1,74 ^{ns}	1,98 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,47 ^{ns}
CV (%)	16,81	4,10	1,35	2,09	1,72
Altura de lectura del sensor sobre el cultivo de 90 cm					
0	0,47 A	0,77 A	0,81 A	0,81 B	0,80 B
50	0,47 A	0,77 A	0,83 A	0,83 AB	0,82 AB
100	0,44 A	0,78 A	0,82 A	0,84 AB	0,82 AB
150	0,46 A	0,77 A	0,83 A	0,84 AB	0,82 AB
200	0,52 A	0,78 A	0,83 A	0,84 AB	0,83 AB
250	0,47 A	0,75 A	0,83 A	0,85 A	0,84 A
IAN-425	0,48 A	0,77 A	0,83 A	0,83 A	0,82 A
IPTA-212	0,46 A	0,76 B	0,82 A	0,83 A	0,82 A
Fc Cultivar (A)	2,53 ^{ns}	15,73 [*]	1,60 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,36 ^{ns}
Fc Dosis (B)	0,56 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,28 ^{ns}	2,98 [*]	3,25 [*]
Fc Ax B	1,30 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,60 ^{ns}
CV (%)	20,90	5,75	1,85	1,99	2,29
Altura de lecturas del sensor sobre el cultivo de 120 cm					
0	0,45 A	0,73 A	0,80 A	0,81 A	0,79 B
50	0,43 A	0,73 A	0,81 A	0,82 A	0,80 AB
100	0,41 A	0,73 A	0,82 A	0,83 A	0,81 AB
150	0,44 A	0,75 A	0,82 A	0,82 A	0,81 AB
200	0,46 A	0,75 A	0,82 A	0,83 A	0,83 A
250	0,45 A	0,74 A	0,82 A	0,82 A	0,84 A
IAN-425	0,46 A	0,75 A	0,82 A	0,66 A	0,81 A
IPTA-212	0,42 A	0,73 B	0,81 A	0,82 A	0,81 A
Fc Cultivar (A)	5,99 ^{ns}	12,41 [*]	3,62 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Fc Dosis (B)	0,36 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,00 ^{ns}	3,54 [*]
Fc Ax B	0,98 ^{ns}	1,14 ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,45 ^{ns}
CV (%)	21,06	8,22	2,17	4,54	2,12

Media con letras común en las columnas no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada. CV: Coeficiente de variación. Fc: Fisher calculado. *significativo (Fisher $< 0,05$). ns: no significativo.

Altura de planta

En la Tabla 2 son presentados los resultados de la evaluación de la altura de planta de los cultivares de algodón (IAN-425 e IPTA-212). No fueron

detectadas diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los cultivares ni entre las dosis de nitrógeno aplicados a los cultivares. Además, no se verificó interacción significativa entre los factores estudiados (Cultivar x Dosis). Estos resultados no

significativos se podrían deber en parte a la no utilización de reguladores de crecimiento en el trabajo de investigación, también se adoptó un sistema de siembra adensado en el experimento, que de acuerdo con Kaneko et al. (2014) al utilizar un sistema adensado en cultivo de algodón conlleva a tener plantas de mayor porte, debido a que promueve una mayor competencia interespecífica por luz y nutrientes. En la investigación realizada por Bogiani e Rosolem (2009) verificaron los efectos de los reguladores de crecimiento de varios cultivares de algodón y concluyeron que, cuando mayor sea la dosis del producto aplicado, mayor es la reducción en la altura de la planta.

También se puede resaltar disponibilidad hídrica óptima proveída al cultivo por el sistema de irrigación durante todo el ciclo, que de alguna manera pudo influir en la altura final de las plantas. Batista, De Aquino, Silva e Silva (2010) evaluaron diferentes sistemas de irrigación en algodón y resaltaron que el mejor sistema fue el de goteo,

donde se observaron un incremento en la altura, de la planta, en el número de capullo y en la productividad. De acuerdo con Lamas e Staut (2001), en condiciones adecuadas de agua (Riego) y fertilizante, el algodónero normalmente puede alcanzar alturas mayores a los 100 cm. En caso de cosecha mecanizada, Bélot e Vilela (2006) recomiendan que la altura del algodón este entre 90 y 150 cm, a fin de evitar pérdidas en la cosecha, de acuerdo con estos, ambos cultivares podrían ser mecanizados, ya que presentaron una altura promedio de 101,54 a 100,79 cm. Sierra, Galvis, Trebilcok e Cadena (2010) estudiaron el comportamiento de la altura del algodón en función de la densidad de siembra y no observaron diferencias significativas para esta variable. Por su parte, Quintana, Quintana, Maidana y Ortiz (2013) sí observaron diferencia estadística en la altura en la variedad cv Un Opal (BGRR) con diferentes densidades de siembra, donde registró alturas de planta de 75 a 77 cm.

Tabla 2. Efecto de la dosis de nitrógeno en la altura de planta del algodónero IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha⁻¹)	IAN-425 (cm)	IPTA-212 (cm)	\bar{x} Según Dosis de N (cm)
0	75,50 A a	102,50 A a	89,00 A
50	118,75 A a	85,75 A a	102,25 A
100	89,50 A a	105,25 A a	97,38 A
150	95,00 A a	111,25 A a	103,13 A
200	135,75 A a	100,75 A a	118,25 A
250	94,75 A a	99,25 A a	97,00 A
\bar{X} según Cultivar	101,54 a	100,79 a	
Cultivar		0,02 ^{ns}	
Dosis		0,71 ^{ns}	
Cultivar x Dosis		1,34 ^{ns}	
CV (%)		32,29	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en la fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Diámetro del tallo

En la evaluación del diámetro del tallo (Tabla 3) no se verificaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre las medias del cultivar y del efecto de la dosis de nitrógeno aplicado al suelo, como también en la interacción cultivar x dosis. Estos resultados no significativos se pudieron deber al esparcimiento adensado de siembra y a la no utilización de los reguladores de crecimiento en el trabajo. Rigon, Neto, Capuani, Beltrão, e Silva (2011) también no registraron diferencias significativas en la interacción dosis de nitrógeno (0, 50, 75 y 100 kg

ha⁻¹) y el diámetro del tallo en cultivo de algodón. Rissatti, Marinho, Ferrari, Júnior e Veiga (2011) trabajaron con dos fuentes de nitrógeno (Urea y sulfato de amonio) en cultivo de algodón y no registraron diferencia significativa en el diámetro del tallo, sin embargo, Azevedo et al. (2001) evaluaron cuatro densidades de siembra (5, 7, 10 y 20 planta m⁻¹) y observaron que el diámetro del tallo fue decreciendo significativamente en función del aumento de la densidad de siembra del algodón. También Quintana, Quintana, Maidana y Ortiz (2013), registraron diferencias altamente significativas por efecto de la distancia entre plantas

e hileras, no así en la interacción. De forma general se puede apreciar en las bibliografías consultadas que el diámetro de tallo es afectado por la densidad de siembra en el cultivo de algodón.

Tabla 3. Efecto de la dosis de nitrógeno en diámetro de planta del algodón IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha ⁻¹)	IAN-425 (cm)	IPTA-212 (cm)	\bar{X} Según Dosis de N (cm)
0	0,75 A a	1,06 A a	0,91 A
50	1,03 A a	0,98 A a	1,00 A
100	0,80 A a	1,10 A a	0,95 A
150	0,94 A a	1,14 A a	1,04 A
200	1,20 A a	1,10 A a	1,15 A
250	0,88 A a	1,14 A a	1,01 A
\bar{X} según Cultivar	0,93 a	1,08 a	
Cultivar		8,92 ns	
Dosis		0,69 ns	
Cultivar x Dosis		0,83 ns	
CV (%)		28,08	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en la fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Número de ramas fructíferas

En la determinación de la cantidad de ramas fructíferas por plantas en el experimento (Tabla 4), fue posible verificar un efecto significativo al 5% de error experimental solo en el cultivar IAN-425, en función a la dosis de nitrógeno aplicado a la planta, observándose un aumento en el número de ramas fructíferas a medida que aumentaba la dosis de nitrógeno, donde el mayor número de ramas fructíferas (7,53 ramas fructíferas planta⁻¹) fue obtenido con la dosis de nitrógeno de 250 kg ha⁻¹, a pesar de que solo difería de la dosis de nitrógeno de 100 kg ha⁻¹. Para el cultivar IPTA-212 no fueron

registradas diferencias estadísticas en función de las dosis de N utilizada durante el experimento, pero fue posible observar un aumento en el número de ramas fructíferas en función del aumento de N, con un valor promedio de 7,38 ramas fructíferas por planta. Quintana et al. (2013) también registraron diferencias significativas en cuanto al número de ramas fructíferas por planta en función a la densidad de siembra, donde el arreglo espacial de 5 plantas m⁻², próximo al utilizado en el trabajo (6 plantas m⁻²) presentó un número de ramas fructíferas promedio de 6,2 ramas fructíferas por planta, valor relativamente cercano al promedio obtenido por el cultivar IAN-425 (6,52 ramas fructíferas planta⁻¹).

Tabla 4. Efecto de la dosis de nitrógeno en el número de ramas fructíferas del algodón IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha ⁻¹)	IAN-425 (Unidad)	IPTA-214 (Unidad)	\bar{X} Según Dosis de N (Unidad)
0	6,68 AB a	7,05 A a	6,71 A
50	6,30 AB a	6,83 A a	6,56 A
100	5,88 B a	7,08 A a	6,48 A
150	6,38 AB a	7,45 A a	6,91 A
200	7,00 AB a	7,88 A a	7,28 A
250	7,53 A a	7,98 A a	7,75 A
\bar{X} según Cultivar	6,52 a	7,38 a	
Cultivar		8,85 ns	
Dosis		1,59 ns	
Cultivar x Dosis		0,20 ns	
CV (%)		15,70	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en la fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Número de cápsulas

El número de cápsulas por planta presentado en la Tabla 5, muestra un comportamiento semejante al observado en el parámetro de cantidad de ramas fructíferas analizado anteriormente. El cultivar IAN-425 fue la única variedad que registró un efecto significativo ($p < 0,05$) a recibir diferentes dosis de nitrógeno. También la mayor cantidad de cápsulas fue registrada con la dosis de nitrógeno de 250 kg ha⁻¹ (9 cápsulas planta⁻¹), que fue superior estadísticamente a las medias obtenidas con las dosis de 0, 100 y 150 kg ha⁻¹ de N. En el caso del

cultivar IPTA-212 no se registraron diferencias estadísticas en el efecto de las dosis de nitrógeno, determinándose una media general de 8,09 cápsulas por planta. Ya la interacción Cultivar y Dosis no registraron diferencias estadísticas. También Quintana, Quintana, Maidana y Ortiz (2013) registraron diferencias estadísticas en el número de cápsulas, derivada de la distancia entre hileras y plantas, en que la densidad de 5 plantas m⁻¹, presentó en promedio 7,11 cápsulas planta⁻¹, ya los cultivares IAN-425 y IPTA-212 registraron en promedio 6,7 y 8,09 cápsulas planta⁻¹, respectivamente.

Tabla 5. Efecto de la dosis de nitrógeno en el número de cápsulas del algodón IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha ⁻¹)	IAN-425 (Unidad)	IPTA-212 (Unidad)	\bar{X} Según Dosis de N (Unidad)
0	6,00 B a	8,00 A a	7,00 A
50	6,75 AB a	6,65 A a	6,70 A
100	5,85 B a	7,68 A a	6,76 A
150	5,78 B a	8,23 A a	7,00 A
200	7,23 AB a	8,95 A a	8,09 A
250	9,00 A a	9,03 A a	8,80 A
\bar{X} según Cultivar	6,70 a	8,09 a	
Cultivar		3,18 ns	
Dosis		2,03 ns	
Cultivar x Dosis		0,68 ns	
CV (%)		22,93	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en la fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Peso de fibra de 100 capullos

Con relación al peso de fibra de 100 capullos (Tabla 6), no se verificaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los cultivares, ni entre las dosis de nitrógeno aplicados a los cultivares. Además, no se

constató interacción significativa entre los factores Cultivar x Dosis. El cultivar IAN-425 presentó un peso de fibra de 100 capullos promedio de 479,38 gramos, y el cultivar IPTA-212 registró una media 506,67 gramos.

Tabla 6. Efecto de la dosis de nitrógeno en el peso de fibra de 100 capullos del algodón IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha ⁻¹)	IAN-425 (gr)	IPTA-212 (gr)	\bar{X} Según Dosis de N (gr)
0	463,75 A	540,00 A	501,88 A
50	550,00 A	471,25 A	510,63 A
100	456,25 A	530,00 A	493,13 A
150	446,25 A	490,00 A	468,13 A
200	516,25 A	492,50 A	504,38 A
250	443,75 A	516,25 A	480,00 A
\bar{X} según Cultivar	479,38 a	506,67 a	
Cultivar		8,30 ns	
Dosis		0,50 ns	
Cultivar x Dosis		1,96 ns	
CV (%)		13,18	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo con Lamas (2001) la masa de capullo es influenciada directamente por el equilibrio entre las partes vegetativas y reproductivas de la planta, lo que nos indica que la fertilización nitrogenada no alteró este equilibrio, para las condiciones en que se realizó en la investigación.

Furlani et al. (2003), estudiaron el efecto de la fertilización nitrogenada asociado a reguladores de crecimiento y densidad de plata para el Estado de São Paulo, Brasil y no verificaron respuesta significativa del nitrógeno sobre el peso del capullo en cultivos algodoneros. En investigación realizada por Quintana et al. (2013) no se reportaron diferencias significativas para esta variable.

Rendimiento de fibra en rama

En el rendimiento de fibra en rama de los cultivares IAN-425 e IPTA-212 presentados en la Tabla 7, no fueron detectadas diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los cultivares, ni entre las dosis de

nitrógeno aplicados a los cultivares. Además, no se verificó interacción significativa entre los factores estudiados (Cultivar x Dosis).

Estos resultados no significativos obtenidos en los rendimientos, quizás se pueden deber al bajo contenido de materia orgánica (0,90%) en el suelo del área del experimento, que pudo haber influenciado en la absorción del nitrógeno por la planta, ya que la materia orgánica es el principal responsable por el intercambio catiónico del suelo. Según Sangoi, Ernani, Lech e Rampazzo (2003) el tipo de suelo puede tener gran influencia en la magnitud del proceso de lixiviación del nitrógeno, donde los suelos arcillosos poseen mayor capacidad de retención de nitrógeno, que los suelos arenosos.

En nuestro caso el cultivo fue realizado en un suelo franco arenoso, donde existe una mayor infiltración del agua y consecuentemente puede existir arrastre de nutrientes para las capas inferiores del suelo.

Tabla 7. Efecto de la dosis de nitrógeno en el Rendimiento de fibra del algodón IAN-425 y IPTA-212. Santa Rosa/Misiones.

Dosis - N (kg ha ⁻¹)	IAN-425 (kg ha ⁻¹)	IPTA-212 (kg ha ⁻¹)	\bar{X} Según Dosis de N (kg ha ⁻¹)
0	2.802,34 A a	2.739,06 A a	2.770,70 A
50	3.200,00 A a	2.894,53 A a	3.047,27 A
100	3.101,56 A a	3.181,56 A a	3.141,65 A
150	2.971,01 A a	3.226,56 A a	3.098,79 A
200	3.601,59 A a	3.015,63 A a	3.308,61 A
250	3.182,34 A a	3.163,97 A a	3.173,25 A
\bar{X} según Cultivar	3.143,17 A	3.036,91 A	
Cultivar		0,81 ns	
Dosis		0,79 ns	
Cultivar x Dosis		0,54 ns	
CV (%)		18,50	

Media con letras común (Mayúscula en la columna y minúscula en fila), no son significativamente diferentes por Tukey ($p < 0,05$). N: Nitrógeno. ns: no significativo. CV: Coeficiente de variación.

Los cultivares IAN-425 e IPTA-212 presentaron rendimientos de 3.143,17 y 3.036,91 kg ha⁻¹, respectivamente, resultados que superan ampliamente el rendimiento promedio nacional de 1.180 kg ha⁻¹ y en el Departamento de Misiones el rendimiento promedio fue de 926 kg ha⁻¹ zafra 2015/2016 conforme con los datos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2017).

Los altos rendimientos obtenidos pueden deberse a la utilización de un sistema de irrigación localizada y a la alta densidad de plantas utilizada. En el caso del sistema de riego, permitió proporcionar una

distribución homogénea y uniforme del agua durante todo el ciclo fenológico del cultivo, que se reflejó al comparar los rendimientos obtenidos en los testigos en donde no se aplicó nitrógeno al suelo, pero si fueron irrigados durante todo el ciclo, registrando rendimientos del orden de 2.802,34 kg ha⁻¹ (IAN-425) y 2.739,06 kg ha⁻¹ (IPTA-212), que corresponde a una diferencia de 1.844,70 kilogramos por hectárea, si comparamos con el rendimiento nacional (926 kg ha⁻¹), que por lo general no utiliza ningún sistema de irrigación y con nula o escasa fertilización.

Trabajos realizados en la región de Loma Plata (Chaco central) por Humada et al. (2016) reportaron un aumento de 12% en el rendimiento del cultivar de NuOPAL (BGRR) con la utilización de un sistema de riego localizado. Aquino e Berger (2011) obtuvieron una productividad en algodón irrigado de 5.211 a 5.426 kg ha⁻¹ en relación con el cultivo no irrigado, que registró un rendimiento de 2.926 kg ha⁻¹.

Sobrinho, Fernandes, Beltrão, Soares e Terceiro Neto (2007) verificaron un aumento de rendimiento de 3.311,92 kg ha⁻¹ en algodón irrigados en comparación al testigo que rindió 760,72 kg ha⁻¹. Estos incrementos en la productividad del algodón por superficie van asociados a una serie de factores, tales como el cultivar utilizado, el sistema de manejo del suelo, fertilización y por supuesto el cuidado sanitario durante todo el ciclo del cultivo.

CONCLUSIONES

Los valores de índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI) obtenido por el sensor óptico activo es influenciado significativamente ($p < 0,05$) por las dosis de nitrógeno aplicado al suelo en el cultivo de algodón, a partir de las evaluaciones realizadas a los 76 DDE (Días después de la emergencia), independientemente del tipo de cultivar y altura de lectura del sensor, donde fueron registrados los mayores valores de espectrales (0,85 y 0,84) con dosis de nitrógeno de 250 kg ha⁻¹. No se verifica efecto de las dosis de nitrógeno sobre las variables altura de plantas, diámetro de tallo, número de ramas fructíferas, número de cápsulas, peso de fibra de 100 capullos y rendimiento de fibra en rama.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA/UNA) por el apoyo y financiamiento del proyecto de investigación 14-INV-314.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, L.R. & Molin, J.P. (2011). Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(8), 1633-1642.

Amaral, L.R., Molin, J.P., Portz, G. & Finazzi, F.B. (2015). Comparison of crop canopy reflectance

sensors used to identify sugarcane biomass and Nitrogen status. *Precision Agriculture*, 16, 15-28.

Aquino, L.A. e Berger, P.G. (2011). Produtividade do algodoeiro irrigado por aspersão ou gotejamento. Em 8º Congresso Brasileiro de Algodão Algodão, Cotton Expo, São Paulo, Brasil.

Azevedo, D.M.P., Vieira, D.J., Baldoíno da Nóbrega, L., Beltrão, N.E.M., Pereira, J.R. e Alves, I. (2001). Avaliação do uso de fitorregulador de crescimento e Densidade de plantas em algodoeiro irrigado. Em III Congresso Brasileiro de Algodão. Campo Grande, MT, Brasil.

Baesso, M.M., Gomes, T.M., Barros, F.U. e Paes, M.H. (2014). Estimativa do potencial produtivo da cultura da beterraba por meio do sensor Greenseeker® HandheldCrop Sensor. Em Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. São Pedro, SP, Brasil.

Batista, C.H., De Aquino, L.A., Silva, T.R. e Silva, H.R.F. (2010). Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 4(4), 197-206.

Bélot, J. e Vilela, P.M.C.A. (2006). Colheita de algodão. Em *Algodão: pesquisas e resultados para o campo*. Cuiabá: Facual. 392 p.

Brandão, Z.N. (2009). *Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto*. Tese Doutorado. Campina Grande, PB, Brasil. Universidade Federal de Campina Grande. 152 p.

Bredemeier, C., Almeida, D., Giordano, C.P.S., Vian, A.L. e De Jesus, M. (2014). Variabilidade espacial da biomassa determinada por sensor de reflectância e sua relação com produtividade e qualidade de grãos de trigo. Em Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. São Pedro, SP, Brasil.

Bogiani, J.C. e Rosolem, C.A. (2009). Sensibilidade de cultivares de algodoeiro ao cloreto de mepiquat. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(10), 1246-1253.

Bonnin, J.J., Vera, P.A. e Franco, R.A. (2015). Uso de sensor ativo para aquisição do NDVI na cultura do trigo. Em XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. São Pedro, SP, Brasil.

Castro, S.G., Nakao, H.S., Franco, H.C.J. e Magalhães, G.O.S. (2014). Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. Em Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. São Pedro, SP, Brasil.

- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2000). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Argentina: Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2013). *InfoStat versión 2013*. Grupo InfoStat, FCA, UNC: Argentina.
- Fioresi, D., Santi, A.L., Baron, F.A., Brondani, M.S. e Ceolin, G. (2014). Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em feijoeiro *phaseolus vulgaris* L. submetido a diferentes sistemas de cobertura de inverno. Em *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão*. São Pedro, SP, Brasil.
- Furlani, J.E., Silva, N.M., Carvalho, L.H., Bortoletto, N., Sabino, J.C. e Bolonhezi, D. (2003). Modos de aplicação de regulador vegetal no algodoeiro, cultivar IAC-22, em diferentes densidades populacionais e níveis de nitrogênio em cobertura. *Bragantia, Campinas*, 62(2): 227-233.
- Humada, G.G., Morais, A.R., Bortolini, J., Rodrigues, G.L., Ayala, L.A., Dueck, J., ... Humada, J.R.S. (2016). Evaluación del algodón en relación con el espaciamento entre hileras y riego. *Tecnología Agraria*, 1(1): 46-50.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2017). *Observatorio: algodón*. Recuperado de: <http://www.iica.org.py/observatorio/algodon.html>
- Kaneko, F.H., Leal, A.J.F., Dias, A.R., Anselmo, J.L., Buzetti, S., Dal Bem, E.A., Gitti, D.C. e Nascimento, V. (2014). Resposta do algodoeiro em cultivo adensado a doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Agrarian*, 7(25): 382-389.
- Molin, J.P., Frasson, F.R., Amaral, L.R., Povh, F.P. e Salvi, J.V. (2010). Capacidade de um sensor óptico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (12): 1345-1349.
- Montheith, J.L. & Unsworth, M.H. (2008). Principles of environmental physics. 3 ed. Academic Press, Boston, Estados Unidos. 418 p.
- Motomiya, A.V., Moraes Queiroz, I., Molin, J.P., Motomiya, W.R., Biscaro, G.A. e Jordan, R.A. (2014). Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. *Ciências Agrárias*, 35(1): 169-178.
- Motomiya, A.V., Molin, J.P. e Chiavegato, E.D. (2009). Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de N em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*. 13(2), 137-145.
- Monti, V.P., Paniagua, P.L., Bonnin, J.J. e Franco, R.A. (2016). Correlação entre características produtivas e morfológicas com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em espécies e cultivares do gênero *Brachiaria*. XLV *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. Florianópolis, SC, Brasil.
- Moges, S.M., Raun, W.R., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Johnson, G.V. & Solie, J.B. (2004). Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1431-1441.
- Lamas, F.M. e Staut, L.A. (2001). Espaçamento e densidade. En *Embrapa Agropecuária Oeste. Algodão: tecnologia de produção*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, pp. 135-139.
- Lamas, F.M. (2001). Reguladores de crescimento na cultura do algodoeiro: Comparação entre produtos e formas de fracionamento de doses. En *Congresso Brasileiro de Algodão*. Anais, Campina Grande: Embrapa Algodão, pp. 514-518.
- Lan, Y., Zhang, H., Lacey, R., Hoffmann, W.C. & Wu, W. (2009). Development of an integrated sensor and instrumentation system for measuring crop conditions. *Agricultural Engineering International*, 11, 1-16.
- López, O., Gonzalez, E., Llamas, P., Molinas, A., Franco, E., Garcia, S. y Rios, A. (1995). *Mapa de Reconocimiento de Suelos de la Region Oriental*. Escala 1500.00. Color. Asunción, Paraguay: Banco Mundial.
- Povh, F.P., Molin, J.P., Gimenez, L.M., Pauletti, V. e Salvi, J.V. (2008). Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(8), 1075- 1083.
- Quintana, L., Quintana, J.M., Maidana, M. y Ortiz, A. (2013). Arreglo espacial del algodón cv NuOpal (BGRR) bajo las condiciones edafoclimáticas del nordeste del departamento de Itapúa. *Investigación Agraria*, 15(2), 91-96.
- Read, J.J., Whaley, E.L., Tarpley, L. & Reddy, R. (2003). Evaluation of a Hand-Held Radiometer for field determination of Nitrogen status in Cotton. *American Society of Agronomy*, 66, 177-195.
- Rigon, J.P.G., Neto, J.K.B., Capuani, S., Beltrão, N.E.M. e Silva, F.V.F. (2011). Alterações nos pigmentos fotosintéticos e no crescimento do algodoeiro em função do nitrogênio e níquel. En 8º *Congresso Brasileiro de Algodão*. São Paulo, SP,

- Brasil. Recuperado de: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/913326/3/SIS007Poster.021.pdf>
- Rissatti, L.B., Marinho, J.F., Ferrari, S., Júnior, E.F. e Veiga, F. (2011). Desenvolvimento vegetativo do algodoeiro em resposta a utilização de doses e fontes nitrogenadas. En 8º Congresso Brasileiro de Algodão. São Paulo, SP, Brasil.
- Rosa, H.A., Ferreira Santos, R., Vieira, M.D., Werner, O.V., Delai, J.M. e Rute de Oliveira, M. (2012). Nitrogênio na cultura do Algodão. *Acta Iguazu.*, 1(1), 64-68.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite 1 Symposium*. Greenbelt, NASA SP-351, Washington, DC. 1, 309-317.
- Sangoi, L., Ernani, P.R., Lech, V.A. e Rampazzo, C. (2003). Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ciência Rural*, 33(1), 65-70.
- Sierra, C.M., Galvis, L.A., Trebilcok, A. e Cadena, J. (2010). Comportamiento de la variedad Un Opal (*Gossypium hirsutum* L.) bajo diferentes arreglos espaciales. *Revista Temas Agrários*, 15(2), 66-74.
- Sobrinho, F.P.C., Fernandes, P.D., Beltrão, N.E., Soares, F.A.L. e Terceiro Neto, C.P.C. (2007). Crescimento e rendimento do algodoeiro BRS-00 com aplicações de cloreto de mepiquat e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, 11(3), 284-292.
- Solari, F., Shanahan, J., Ferguson, R., Schepers, J. & Gitelson A. (2008). Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agronomy Journal*, 100(3), 571-579.
- Vera, P.A. y Bonnín, J.J. (2015). Uso de sensor ativo para aquisição do NDVI na cultura do trigo. En XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, São Pedro, SP, Brasil.