

USO DE SENSORES INFRARROJOS PARA ESTIMAR DOSIS DE FERTILIZACIÓN RACIONAL EN MAÍZ EN GUANAJUATO

USING INFRARED SENSORS TO ESTIMATE RATIONAL FERTILIZATION RATES FOR CORN IN GUANAJUATO STATE

Roberto Paredes*; María del Pilar Alamilla; Andrés Mandujano

km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel Allende. Celaya, Gto. MÉXICO

Correo-e: paredes.roberto@inifap.gob.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

En Guanajuato, el maíz es uno de los cultivos más importantes desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. La experiencia con productores en los últimos años ha demostrado que las recomendaciones de fertilizante basadas en análisis de suelo no logran satisfacer las demandas nutritivas del cultivo para lograr altos rendimientos. La optimización del manejo de nitrógeno (N) en maíz requiere la determinación adecuada de la dosis de este nutriente, específicamente en el reabone. Una alternativa es el uso de sensores infrarrojos como el SPAD 502 de Minolta, que mide el *índice de clorofila* en las hojas; este valor tiene una clara correlación con la cantidad de nitrógeno en la planta, lo cual permite conocer las necesidades nutrimentales en cuanto a nitrógeno se refiere. Durante los ciclos PV 2010 y 2011 se establecieron dos ensayos en la región centro-sur del estado de Guanajuato y se evaluaron siete tratamientos, los cuales constaron de dosis crecientes de N: 0, 45, 90, 135, 180, 240 y 300 UN. Se determinó el índice de clorofila mediante el sensor SPAD, cuando la planta presentaba siete hojas completamente desarrolladas (V7) y se determinó rendimiento. Mediante el paquete estadístico SAS 9.2 se realizó un análisis de varianza combinado y una comparación de medias (DMS $\alpha=0.05$). La máxima respuesta del rendimiento de grano se presentó en el rango de 180 a 300 UN, debido a que no presentaron diferencias estadísticas entre ellos. Se observó una relación proporcional entre la dosis de N y el valor SPAD en la etapa V7 del cultivo. Esta información es una base para generar el diagnóstico de requerimiento de fertilizante nitrogenado en el cultivo de maíz.

PALABRAS CLAVE: Fertilización nitrogenada, valores SPAD.

ABSTRACT

In Guanajuato, corn is one of the most important crops from a food, industrial, political and social standpoint. Experience with producers in recent years has shown that fertilizer recommendations based on soil tests fail to meet the nutritional needs of the crop and thus high yields are not achieved. Optimization of nitrogen (N) management in corn requires proper determination of the nitrogen fertilizer dose to apply, specifically in the second fertilization. An alternative is the use of infrared sensors such as the Minolta SPAD 502, which measures the chlorophyll content in leaves; this value has a clear correlation with the amount of nitrogen in the plant, as it allows determining nutritional needs in terms of nitrogen. During the 2010 and 2011 spring-summer cycles, two trials were conducted in the center-south region of the state of Guanajuato; seven treatments, consisting of increasing doses of N (0, 45, 90, 135, 180, 240 and 300 UN), were assessed. SPAD values were obtained when plants presented seven fully-developed leaves (V7), and yield was also determined. Combined analysis of variance and comparison of means (LSD $\alpha = 0.05$) were performed using the SAS 9.2 statistical package. The maximum grain yield response occurred in the range of 180 to 300 UN, because there were no statistical differences among them. A proportional relationship between the N dose and the SPAD value was observed in the V7 stage of the crop. This information is a basis for generating the nitrogen fertilizer requirement diagnosis in corn cultivation.

KEYWORDS: Nitrogen fertilization, SPAD values.



Recibido: 20 de junio, 2012
Aceptado: 13 de septiembre, 2013
doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.016
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

INTRODUCCIÓN

En la entidad, el maíz es el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Durante el periodo 2007-2011 se obtuvo un promedio de 1.2 millones de toneladas de grano de maíz, de una superficie cosechada de 277,000 ha en condiciones de riego y temporal, en las que la media de rendimiento fue de 8.8 y 1.5 t·ha⁻¹ respectivamente (SIAP, 2010). Tanto el rendimiento como la producción obtenidos en esta superficie son considerados bajos; para lograr su incremento se han adoptado sistemas de producción intensivos que utilizan genotipos con mayor potencial de rendimiento, sin embargo, éstos demandan cantidades mayores de nutrientes y agua, por lo que surge la necesidad de generar alternativas para optimizar el manejo de estos recursos. En maíz, el uso de fertilizantes químicos representa entre el 25 y 40 % de los costos totales de producción (Amado, *et al.*, 2009; Armenta, *et al.*, 2008). En este sentido uno de los aspectos que cobra relevancia es la utilización de dosis óptimas de fertilización, generadas en función de las demandas reales del cultivo, que resultan de la interacción entre el cultivo, el ambiente y el manejo agronómico.

El análisis de suelos continúa siendo el enfoque más utilizado a nivel mundial para generar diagnósticos y recomendaciones de fertilización (García y Ciampitti, 2010), sin embargo, la experiencia en trabajos de investigación y en campo han demostrado que las recomendaciones basadas en análisis de suelo no logran satisfacer adecuadamente las necesidades nutritivas de los cultivos, debido a que dicho análisis provee un índice de disponibilidad de nutrientes en el suelo y éste difiere del índice de extracción y absorción por parte del cultivo. Por otra parte, las recomendaciones basadas en suelo son regionalizadas y a menudo consisten en dosis predeterminadas de nutrientes que no toman en cuenta las condiciones ambientales y el manejo particular de cada parcela.

Los análisis de planta al igual que los de suelo, son una alternativa para la dosificación adecuada de nutrimentos que están basados en el contenido de nutrientes de los tejidos vegetales en un momento o etapa determinada (Munson y Nelson, 1986), asumiendo que dicho contenido está directamente relacionado con la condición del suelo y la productividad de la planta. Normalmente los análisis de planta son realizados en laboratorio empleando para ello muestras de tejido vegetal.

Sin embargo, actualmente existen métodos en campo que mediante índices de verdor, nitratos y clorofila, proporcionan información respecto al contenido de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros, mediante los cuales es posible realizar diagnósticos y recomendaciones precisas de fertilización (Ferrari *et al.*, 2010) de forma rápida y no destructiva (Paredes y Buenrostro, 2012).

INTRODUCTION

In the state, corn is the most important crop from a food, industrial, political and social standpoint. During the 2007-2011 period, an average of 1.2 million tons of corn grain was harvested from a 277,000-ha area under irrigation and rainfed conditions, in which the average yield was 8.8 and 1.5 t·ha⁻¹, respectively (SIAP, 2010). Both the yield and production obtained in this area are considered low. In order to increase it, intensive production systems using genotypes with higher yield potential have been adopted; however, they require greater amounts of nutrients and water, so the need arises to generate alternatives to optimize the management of these resources. In corn, the use of chemical fertilizers accounts for between 25 and 40 % of total production costs (Amado *et al.*, 2009; Armenta *et al.*, 2008). In this regard one important aspect is the use of optimal fertilization doses, generated according to the actual demands of the crop, which result from the interaction between the crop, the environment and the agronomic management.

Soil testing is still the most commonly used approach worldwide to generate diagnoses and fertilization recommendations (García and Ciampitti, 2010); however, experience in research and field work has shown that recommendations based on soil analysis fail to adequately meet the nutritional needs of crops, because this analysis provides an index of nutrient availability in the soil, which differs from the rate of extraction and uptake by the crop. Moreover, soil-based recommendations are regionalized and often consist of predetermined nutrient doses that do not take into account the environmental conditions and the particular management of each plot.

Plant analyses, like those of soil, are an alternative for achieving proper nutrient doses; they are based on the nutrient content of plant tissues at a particular time or stage (Munson and Nelson, 1986), assuming that this content is directly related to the condition of the soil and plant productivity. Normally plant analyses are performed in the laboratory using plant tissue samples.

At present, however, there are field methods that through greenery, nitrate and chlorophyll indexes provide information regarding the content of nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium, among others, by which it is possible to make accurate diagnoses and fertilization recommendations (Ferrari *et al.*, 2010) quickly and non-destructively (Paredes and Buenrostro, 2012).

Nitrogen is the nutrient that most limits plant growth and it is a basic constituent for amino acids, nucleic acids, and chlorophyll (Doberman and Fairhurst, 2000). It promotes rapid growth, which is reflected in a more robust appearance (larger and more succulent leaves), and contributes

El N es el nutriente que limita en mayor medida el desarrollo de las plantas, es un constituyente básico para los aminoácidos, ácidos nucleicos y la clorofila (Dobermann y Fairhurst, 2000). Promueve el rápido crecimiento, que se ve reflejado en un porte más robusto (hojas más grandes y suculentas) y contribuye a la formación y llenado de grano. En consecuencia, el N afecta todos los parámetros que impactan al rendimiento, además es el elemento de mayor costo y uno de los menos aprovechados por parte de las plantas, debido a su alta movilidad que se traduce en pérdidas por volatilización y lixiviación (Thompson y Throe, 2002); es por ello, que cada mejora en la eficiencia de uso del nitrógeno que implica una reducción en las pérdidas del mismo y un incremento en la absorción, repercute proporcionalmente en el retorno económico (González y Guzmán, 1999).

El objetivo de esta investigación fue generar un modelo matemático para calcular la dosis óptima de nitrógeno al momento del reabone en el cultivo maíz, empleando para ello, datos de concentración de clorofila tomados con el sensor SPAD 502 de Minolta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los ciclos PV 2010 y 2011 se establecieron dos ensayos bajo condiciones de riego, en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) en Celaya y en la comunidad "Las Raíces" del municipio de Valle de Santiago, donde se evaluaron siete tratamientos que consistieron en dosis crecientes de N: 0, 45, 90, 135, 180, 240 y 300 UN en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en ocho surcos de 0.8 m de separación entre ellos, y diez metros de longitud (64 m²), siendo la parcela útil, los dos surcos centrales. El material genético fue el híbrido intermedio Jabalí. La fertilización nitrogenada del cultivo se realizó en dos aplicaciones, uno al momento de la siembra (33 %) y el restante (67 %) fue aplicado cuando el cultivo presentaba la séptima hoja completamente desarrollada (V7); el resto de los nutrimentos (P, K, Mg, Zn y microelementos) se colocaron desde el momento de la siembra, procurando la suficiencia de dichos nutrientes. La fuente de fertilizante nitrogenado fue Nitrodoble (Nitrato de amonio calcáreo) con una concentración de 27 % N, del cual 50 % es N-nítrico y 50 % es N-amoniaco. El manejo agronómico fue del productor cooperante, excepto la parte de fertilización.

En los dos ciclos, los muestreos con el sensor SPAD se realizaron en la etapa V7 y para cada unidad experimental se muestrearon 60 plantas; la medición se realizó en la parte media de la última hoja completamente desarrollada y al final del ciclo se midió rendimiento de grano. En cada localidad, los muestreos con SPAD y de rendimiento se realizaron en 8 metros lineales de los dos surcos centrales (12 m²), para eliminar los efectos de orilla. El análisis estadístico se realizó mediante el paquete SAS.

to grain formation and filling. Consequently, N affects all the parameters that have an impact on yield; it is also the most costly element and one of the least utilized by plants due to its high mobility that results in losses by volatilization and leaching (Thompson and Throe, 2002); this is why every improvement in nitrogen use efficiency implies a reduction in N losses and an increase in its absorption, which has a proportional impact on the economic return (González and Guzmán, 1999).

The objective of this study was to generate a mathematical model to calculate the optimal nitrogen dose at the time of the second fertilization of the corn crop, using chlorophyll concentration data taken with a Minolta SPAD 502 sensor.

MATERIALS AND METHODS

During the 2010 and 2011 spring-summer cycles, two trials were established under irrigated conditions at the Bajío Experimental Field in Celaya (known by the Spanish acronym CEBAJ) and in the community "Las Raíces" in the municipality of Valle de Santiago, where seven treatments consisting of increasing N doses (0, 45, 90, 135, 180, 240 and 300 UN) were assessed. A randomized complete block design with four replications was used. The experimental unit consisted of eight rows 0.8 m apart and ten meters long (64 m²), with the useful plot being the two center rows. The genetic material was the intermediate hybrid Jabali. Nitrogen crop fertilization was performed in two applications, one at planting (33 %) and the rest (67 %) when the crop presented the fully-developed seventh leaf (V7); the rest of the nutrients (P, K, Mg, Zn and microelements) were placed at the time of planting, ensuring the adequacy of these nutrients. The nitrogen fertilizer source was Nitrodoble (calcareous ammonium nitrate) at a concentration of 27 % N, 50 % of which is N-nitrate and 50 % N-ammonia. Agronomic management was carried out by the cooperating producer, except for the fertilization part.

In the two cycles, the samplings with the SPAD sensor were conducted in the V7 stage, and 60 plants were sampled for each experimental unit; measurement was performed in the middle part of the last fully-developed leaf and grain yield was measured at the end of the cycle. At each site, SPAD and yield samplings were performed in 8 linear meters of the two center rows (12 m²), to remove edge effects. Statistical analysis was performed using the SAS package.

RESULTS

Combined ANOVA

Through combined analysis of variance, highly significant differences were observed in the nitrogen dose factor. There was a linear response, in both plant chlorophyll content and grain yield, to the nitrogen dose.

RESULTADOS

Análisis de varianza combinado

Mediante el análisis de varianza combinado se observaron diferencias altamente significativas en el factor dosis nitrogenada. Existió una respuesta lineal, tanto del contenido de clorofila en la planta como del rendimiento de grano, a la dosis nitrogenada.

Lo anterior indica que el aporte de N es primordial para alcanzar un alto rendimiento de grano en el ambiente y en las condiciones evaluadas. En la interacción localidad*año se identificó un efecto altamente significativo del ambiente y del año, sobre el rendimiento y contenido de clorofila en la planta (Valor SPAD), como resultado del manejo agronómico y condiciones ambientales. Al analizar la interacción localidad*dosis, ésta resultó altamente significativa, lo cual indica que el efecto del aporte de nitrógeno fue distinto en cada ambiente evaluado y esto influye directamente en el rendimiento e índice de clorofila en la planta. En cuanto al efecto significativo de la interacción dosis nitrogenada*año para el valor SPAD, indica que el contenido de clorofila en la planta se comporta distinto en cada año, debido a las condiciones nutrimentales y climáticas propias de cada ciclo (Cuadro 1).

Mediante la prueba de medias (DMS $\alpha=0.05$), se encontró una igualdad estadística en rendimiento para los tratamientos 180, 240 y 300 UN. Lo anterior sugiere que la máxima respuesta del rendimiento se encuentra en este rango. Con respecto al valor SPAD, la dosis de 300 UN fue estadísticamente superior a todas las dosis evaluadas.

CUADRO 1. Cuadrados medios de valor SPAD y rendimiento. TABLE 1. Mean squares of SPAD value and yield.

Fuente de variación / Source of variation	GL / DF	SPAD	Rendimiento / Yield CM / MS
Localidad / Location	1	732.25 **	63.77 *
Repetición / Replication	3	7.89	0.52
Loc (Rep)	3	3.5	4.88
Año / Year	1	191.05 **	30.76 *
Loc*Año	1	19.8 **	106.83 **
Loc(Año*Rep)	5	0.67	2.71
Dosis	6	114.68 **	52.49 **
Loc*Dosis	6	12.63 **	11.39 **
Dosis*Año / Dosis*Year	6	9.92 *	0.89
Loc*Dosis*Año / Dosis*Year	6	7.67	0.1

* Significativo ** altamente significativo / * Significant **highly significant

The foregoing indicates that the N contribution is crucial for achieving high grain yield in the environment and conditions evaluated. In the location*year interaction, a highly significant effect of the environment and year on yield and plant chlorophyll content (SPAD value), as a result of agronomic management and environmental conditions, was identified. In addition, the location*dose interaction was highly significant, indicating that the effect of N contribution was different in each environment evaluated and that this has a direct effect on yield and plant chlorophyll content. Regarding the significant effect of the nitrogen dose*year interaction for the SPAD value, it indicates that plant chlorophyll content behaves differently in each year, due to the nutritional and specific climatic conditions of each cycle (Table 1).

Using the means test (LSD $\alpha=0.05$), a statistical equality in yield was found for the 180, 240 and 300 UN treatments. This suggests that the maximum yield response is in this range. With regard to the SPAD value, the 300 UN dose was statistically superior to all doses tested.

Correlation between SPAD value and yield

The SPAD reading was sensitive to changes in greenness intensity caused by variations in the N doses, or varietal differences. A clear relationship between yield and SPAD reading was observed in stage V7. In plotting the yield, response to N was adjusted to an exponential equation (Figure 1) to explain the relationship between N dose and grain yield in corn.

It should be noted that stage V7 is not the stage with the highest correlation between chlorophyll content and yield;

CUADRO 2. Tabla de comparación de medias (DMS, $\alpha=0.05$) de Valores SPAD y rendimiento de grano de maíz en respuesta a la dosis de N.

TABLE 2. Comparison of means (LSD, $\alpha=0.05$) of SPAD values and grain yield of corn in response to N dose.

Dosis / Dose	Valor SPAD / SPAD Value	Rendimiento / Yield
0N	36.62 f	4.74 e
45N	38.87 e	5.92 d
90N	40.5 d	6.92 c
135N	41.74 cd	8.63 b
180N	42.22 bc	9.01 ab
240N	43.2 b	9.36 ab
300N	44.8 a	9.83 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. Different letters in the same column indicate significant differences.

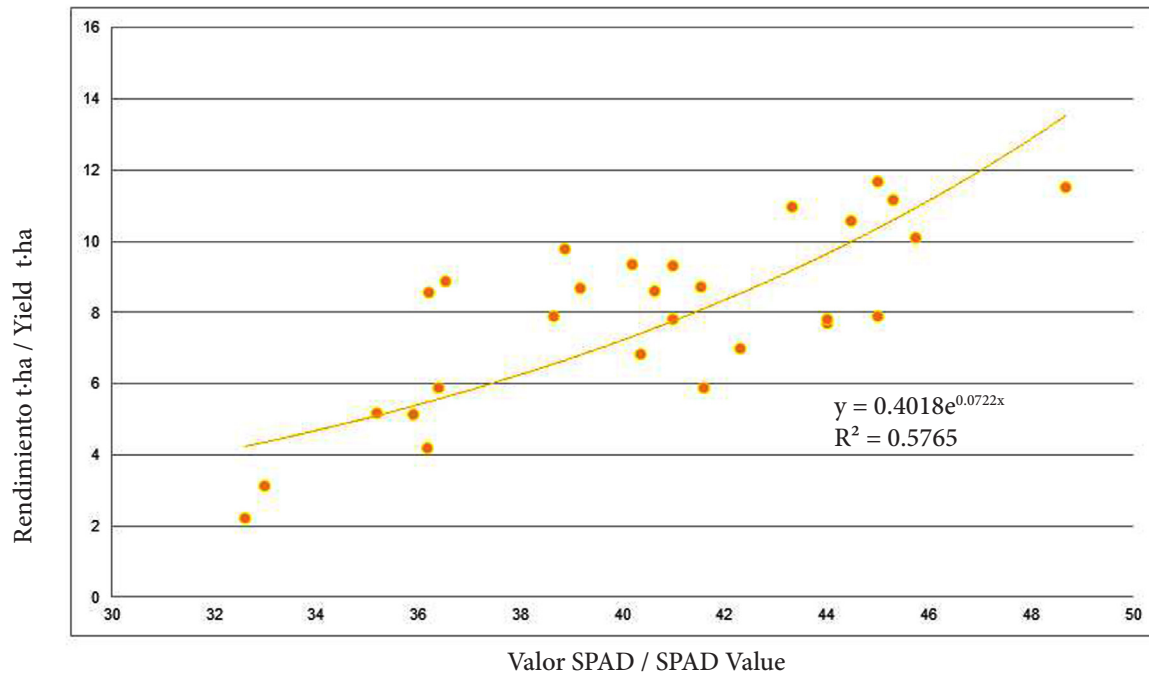


FIGURA 1. Correlación entre valores SPAD y rendimiento de maíz.
FIGURE 1. Correlation between SPAD values and corn yield.

Correlación entre valor SPAD y rendimiento

La lectura del SPAD fue sensible a cambios en la intensidad de verdor originados por variaciones en las dosis de N, o diferencias varietales. Se observó una clara relación entre el rendimiento y la lectura de SPAD, en etapa V7. Al graficar el rendimiento, la respuesta a N se ajustó a una ecuación exponencial (Figura 1), para explicar la relación entre dosis de N y el rendimiento de grano en maíz.

Cabe destacar que la etapa V7 no es la etapa de mayor correlación entre índice de clorofila y rendimiento, sin embargo, operativamente es la etapa ideal para el reabone, debido a que es donde el promedio de los productores realizan la segunda fertilización, además la correlación existente entre ambas variables durante esta etapa es lo suficientemente buena para estimar el rendimiento. Tomando como referencia los valores de índice de clorofila colectados en V7 durante los dos ciclos del experimento en las localidades de Celaya y Valle de Santiago, y las extracciones unitarias de N propuestas para calcular la demanda nutrimental de maíz (Castellanos *et al.*, 2005), se generó un modelo matemático para estimar la dosis de fertilizante nitrogenado en maíz al momento del reabone, resultando la siguiente ecuación: $UN = (330.2 - ((401 * EXP(0.072 * D3) * 0.0225)))$

CONCLUSIONES

Se demostró que el rendimiento de maíz es directamente proporcional a la dosis de fertilizante nitrogenado y que la respuesta máxima del rendimiento a la dosis nitrogenada se encuentra en el rango de 180 a 300 UN.

however, operationally it is the ideal stage for the second fertilization, because it is where most producers make the second fertilization, and also the correlation between both variables during this stage is good enough to estimate yield. Taking as a reference the chlorophyll values collected in V7 during the two cycles of the experiment at the Celaya and Valle de Santiago sites, and the unitary N extractions proposed to calculate the nutritional demand of corn (Castellanos *et al.*, 2005), a mathematical model was generated to estimate the appropriate nitrogen fertilizer dose for corn at the time of the second fertilization, resulting in the following equation: $UN = (330.2 - ((401 * EXP(0.072 * D3) * 0.0225)))$

CONCLUSIONS

It was demonstrated that corn yield is directly proportional to the nitrogen fertilizer dose and that the maximum yield response to the nitrogen dose is in the range of 180 to 300 UN.

The correlation between SPAD values (V7) and the fertilization dose applied to corn allowed the generation of a mathematical model to estimate the appropriate nitrogen fertilizer dose at the time of the second fertilization. This model enables *in situ* determination of the proper nitrogen fertilizer dose at the time of the measurement in the producer's plot.

End of English Version

La correlación entre los valores SPAD (V7) y la dosis de fertilización aplicada al cultivo de maíz permitió la generación de un modelo matemático para la estimación de la dosis adecuada de fertilizante nitrogenado al momento del reabone. Con este modelo se permite determinar *in situ* la dosis de fertilizante nitrogenado al momento de la medición en la parcela del productor.

LITERATURA CITADA

- Amado, A. J. P.; Ortiz, F. P (2009). Respuesta del maíz de riego a humedad del suelo, nitrógeno y densidad de población en Cuauhtémoc, Chihuahua. *Ciencias* 16(3):239-245.
- Armenta, B. A. D.; Camacho, B. J. R.; López, G. F. (2008). Fertilización y densidad de siembra en maíz en el norte de Sinaloa. En: Memoria de la Jornada de Manejo Sustentable del Cultivo del Maíz. Fundación Produce Sinaloa, SAGARPA y Gobierno del estado. Pp 32-33.
- Castellanos, R. J. Z.; Cueto, W. J. A.; Macías, C. J.; Salinas, G. J. R.; Tapia, V. L. M.; Cortés, J. J. M.; González, A. I. J.; Mata, V. H.; Mora, G. M.; Vásquez, H. A.; Valenzuela, S. C.; Enríquez, R. S. A. 2005. La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Campo Experimental Bajío, INIFAP Celaya, Gto. Folleto técnico núm. 1 p 11-18.
- Ferrari, M.; Castellarín, H.; Saiz Rosas, H. R.; Vivas, H. S.; Melchiori, R. J. M.; Gudeli, V. 2010. Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la Región Pampeana. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. El Suelo: pilar de la agroindustria en la Pampa Argentina, Rosario, Santa Fe, AACs. Cd-rom.
- Dobermann A.; Fairhurst T. 2000. Rice: nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute and Internacional Rice Research Institute, USA. 190 p.
- García, F.; Ciampitti, I. A. 2010. Enfoques alternativos para el diagnóstico de fertilidad de suelos el enfoque "tradicional". Memoria del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Rosario, Argentina.
- González, R.; Guzmán, L. 1999. Efecto de la fertilización en el rendimiento del sorgo de grano en la región de los Llanos occidentales. FONAIAP Divulga 63 julio - septiembre 1999. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Portuguesa.
- Munson, R. D.; Nelsosn, W. L. 1986. Principles and Practices in Plant Analysis. En: Walsh L. M.; J. D. Beaton (Eds.). Soil Testing and Plant Analysis. 6th Ed. SSSAJ. Madison, Wisconsin, USA: 223-248.
- Paredes, M. R.; Buenrostro, R. J. F. (2012). Nutrición vegetal de los cultivos. Folleto técnico Núm. 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, CIR-Centro, CEBAJ, Celaya, Gto. 30 p.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2010). Cierre de la producción agrícola por cultivo. [En línea] disponible en: http://siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. Fecha de consulta 01 de Marzo de 2012.
- Thompsosn, L. M.; Trhoe, F. R. 2002. Los suelos y su fertilidad, cuarta edición. Editorial Reverté. Madrid, España