



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

IDENTIFICACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN MAÍZ (*Zea mays*) MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA.

M.B. AGUSTÍN ZAVALA SEGOVIANO

agustinsegoviano@gmail.com

DR. JOSÉ MANUEL CABRERA SIXTO

jmcabrerass@gmail.com

DR. CÉSAR GUTIÉRREZ VACA

cesarg45@hotmail.com

DR. ALFREDO MÁRQUEZ HERRERA

amarquez@ugtomx.onmicrosoft.com

DR. MARTÍN CADENA ZAPATA

martincadenaz@gmail.com

DR. NOÉ SALDAÑA ROBLES

saldanar@ugto.mx

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

IDENTIFICACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN MAÍZ (*Zea mays*) MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA.

Resumen

El cultivo de maíz es de los más importantes en México, sin embargo, la baja eficiencia de la aplicación de los fertilizantes afecta de manera importante en el rendimiento y por lo tanto en la economía del agricultor, reduciendo las utilidades y además provocando daños ambientales por el uso excesivo de estos. El uso de sensores remotos para la aplicación variable de los fertilizantes mejora la eficiencia y la sustentabilidad de la producción agrícola. La aplicación correcta de los macroelementos como el nitrógeno, fosforo y potasio en tiempo y dosis adecuadas permite obtener el mayor potencial de rendimiento del cultivo de maíz. Esta investigación aborda las posibilidades de predicción del contenido de nitrógeno, fosforo y potasio en plantas de maíz usando la reflectancia espectral de la hojas del cultivo, en condiciones de campo. Se estableció el experimento de campo que consta del cultivo de maíz el cual se somete a condiciones de estrés por deficiencia de cada uno de los macro elementos en cinco tratamientos. Los datos de reflectancia espectral se obtuvieron en dos etapas de crecimiento (V6 y V11), entres hojas y en tres zonas de la hoja del cultivo de maíz. El equipo utilizado fue un espectrofotómetro HR4000 Ocean optics. Los resultados del análisis visual de las gráficas de reflectancia muestran la separabilidad de los macroelementos en los diferentes tratamientos. Permitiendo de esta manera identificar las plantas con deficiencias de nitrógeno, fosforo y potasio.

Abstract

The maize is the most important in Mexico, however, the low efficiency of fertilizer application affects performance so important and therefore on the economy of the farmer by reducing profits and also causing environmental damage overuse of these. The use of remote sensing for variable fertilizer application improves efficiency and



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

sustainability of agricultural production. A correct application of the macro elements such as nitrogen, phosphorus and potassium in time and dose giving the higher yield potential of corn cultivation is necessary. This research approaches prediction possibilities nitrogen, phosphorus and potassium in maize plants using the spectral reflectance of the leaves of the crop under field conditions. Field experiment consisting of maize which is subjected to stress conditions deficiency each macro elements in five treatments was established. Spectral reflectance data were obtained in two stages of growth (V6 and V11), enter in three areas leaves and leaf maize. The equipment used was spectrophotometer Ocean Optics HR4000. The results of visual analysis of reflectance graphs show the separability of the macroelements in the different treatments. The spectral response of corn leaf plants identifies deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium.

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una superficie de 198 millones de hectáreas de las cuales solo 29.7 millones hectáreas (15%) son tierras agrícolas (SIAP, 2014) en donde se emplea cerca de 3.9 millones de toneladas de fertilizante al año para fertilizar únicamente el 40% de su superficie arable (ANACOFER, 2012). Lo anterior se debe al alto costo del fertilizante, pues el 95% es importado. El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, el 25% del fertilizante consumido se emplea en la producción de 22 663 953 t de maíz cosechado de 7 487 399 ha (INEGI, 2014). La eficiencia de uso de fertilizantes en cereales, a nivel mundial, es del orden de 30 – 35% (FAO – IAE, 2002). Actualmente la eficiencia del uso de fertilizantes y las sustentabilidad de la producción agrícola se mejora a través del uso de sensores basado en fundamentos de percepción remota. Un ejemplo es el uso de sensores que determinan el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). El NDVI ha sido correlacionado con el estado de salud de la vegetación y a su vez con el estrés



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

por deficiencia de N inducida intencionalmente para después evaluar la dosis que debe aplicarse al cultivo. Sin embargo, el factor limitante de la producción o causante de estrés en la planta no ha podido ser identificado puntualmente con dicho índice. La información espectral que hoy en día se puede registrar desde sensores montados en plataformas diversas como los satélites, vehículos aéreos no tripulados, aviones e incluso sensores de mano han permitido experimentar en la búsqueda de métodos del uso eficiente de fertilizantes sin el éxito esperado.

El nitrógeno (N) presente en la clorofila representa un 10% del nitrógeno total en la planta. Sin embargo, la relación entre N total y clorofila es alta ($R^2 > 0.75$) (Zwiggelaar, 1998). Solari *et al.*, 2008 evaluaron la reflectancia del sensor activo Crop Circle™ para determinar el contenido de nitrógeno y el potencial de rendimiento del maíz. Los resultados permitieron realizar aplicaciones variables de N para mejorar la eficiencia de uso (NUE por sus siglas en inglés). En esta investigación permitió determinar la etapa de crecimiento en la cual realizar la aplicación de N y poder obtener un mayor rendimiento de grano de maíz, siendo las más adecuadas la V11 y V15.

El uso de tecnologías percepción remota como el espectroradiómetro portátil Fieldspect® permitió la determinación de las concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en dosel de pastizales (Ozyigit y Bilgen, 2013). A través de esta investigación se encontró que existen relaciones significativas entre los nutrientes predichos por el espectroradiómetro Fieldspect® y los obtenidos en el laboratorio. Los valores de R^2 para el N, P y K fueron de 0.85, 0.43 y 0.84 respectivamente. Se encontraron que las relaciones significativas entre los niveles de fósforo y las longitudes de onda de la región de rojo 601 nm a los 700 nm (rojo), mientras que los niveles de potasio correlacionado con la región azul y roja del espectro .y para el fósforo en la región del rojo (675 - 680 nm).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Chen *et al.*, 2014 determinaron la deficiencia en el cultivo de arroz de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio con base en el escaneo de las hojas, utilizando un escáner EPSON GT20000, Las precisiones de identificación de deficiencias N, P, y K fueron 87.69, 90.00 y 89.23% para la etapa cuatro de crecimiento del arroz. Sin embargo las deficiencias ya se exhiben visualmente por lo que un llevar a cabo una estrategia de fertilización para corregirlas es difícil, lo que afecta de manera negativa en el rendimiento del cultivo de arroz. La evaluación de deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) realizada por Christensen en 2004, para para dos variedades de cultivos, maíz (*Zea mays* L.) y cebada (*Hordeum Vulgare* L.), utilizando las mediciones del espectrofotómetro en el intervalo de 450 a 1000 nm le permitieron predecir el contenido de nutrientes combinando la información espacial obteniendo un 92% de éxito. En el cultivo de cebada el contenido de nitrógeno se puede predecir a través en las tres primeras etapas de crecimiento en el rango de los 450 – 700 nm con un intervalo de confianza de 95%. La creación de una estrategia de aplicación de N, P y K con base en información de percepción remota o teledetección de las hojas de un cultivo requiere la discriminación entre el estrés por múltiples variables (agua, temperatura, etc.) antes de la predicción de los estados nutricionales individuales presentes en un campo determinado. La obtención de las firmas espectrales de las plantas de acuerdo con el estado fisiológico de la planta, sobretodo en etapas fenológicas del cultivo tempranas, es información esencial para alcanzar buenas estrategias de fertilización y por lo tanto reducir el efecto en el rendimiento por deficiencia de nutrientes (Christensen, L. K., 2004).

Con base a los antecedentes es posible predecir las concentraciones de N, P y K, y por lo tanto discriminar su deficiencia en etapas fenológicas tempranas de maíz establecido en campo mediante la respuesta espectral de las hojas dentro de un rango espectral de los 200 a los 2500 nm.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

El presente trabajo tiene como objetivos discriminar entre las deficiencias de N, P, y K del cultivo de maíz y predecir las concentraciones de N, P y K de las hojas de maíz mediante el uso de información espectral y espacial. Determinar en qué etapa del cultivo de maíz (V6, V11) se expresa la deficiencia, de acuerdo a la ubicación de la hoja en la planta, determinar cuál expresa mejor la deficiencia. Y determinar que parte de la hoja (base, centro, punta) expresa la deficiencia.

II. METODOLOGÍA

La investigación se llevará a cabo en etapas tempranas del cultivo de maíz (*Zea mays*) con el fin de detectar la deficiencia antes de que ésta se exprese en el rango visual, para implementar la corrección con base a nutriente deficiente y evitar la disminución en el rendimiento del cultivo por lo que es necesario identificar las bandas espectrales dentro de la firma espectral en donde se comporte diferente la reflectancia de acuerdo con la deficiencia de nutrientes (N, P y K).

El experimento se realizó en una parcela del campo experimental de la División de Ciencias de la Vida, de la Universidad de Guanajuato, ubicación geográfica es 20°44'41.36" latitud norte y 101°19'40.78" longitud oeste. Se encuentra a 1757 msnm, las lluvias se presentan en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre, la precipitación media es de aproximadamente 800 mm anuales. La temperatura media anual es de 18°C. El suelo se clasifica como vertisol pélico de textura franco arcillosa contenido de materia relativamente alto de acuerdo con el análisis de suelo. El área de la parcela es de 1800 m² (0.18 ha)

Se procedió a realizar la selección de las fuentes de N, P y K además los micronutrientes quedando de la siguiente manera:

- Fuente de Nitrógeno: Sulfato de amonio - (NH₄)₂SO₄ (21N – 0P – 0K -24S)
- Fuente de Fósforo: Superfosfato triple - Ca (H₂PO₄)₂ (0N – 46P – 0K)
- Fuente de Potasio: Cloruro de potasio - KCl (0N – 0P – 60K)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La inducción de deficiencias en el cultivo se realizó eliminando uno de los macro elementos (N, P y K) de la fórmula de fertilización, con la finalidad de evaluar la respuesta espectral de la planta debida a la deficiencia.

El tipo de semilla de maíz seleccionado fue Maíz híbrido Dekalb DK 2027 (Monsanto, Creve Coeur, Misuri, E.U.). El diseño del experimento para esta etapa consiste en bloques al azar, en el cual se establecen cinco tratamientos (áreas). Los resultados de cada tratamiento se analizaran mediante comparación de medias en caso de tratarse de distribución normal o mediante comparación de medianas en caso de que se trate de distribuciones no normales (Figura 1).

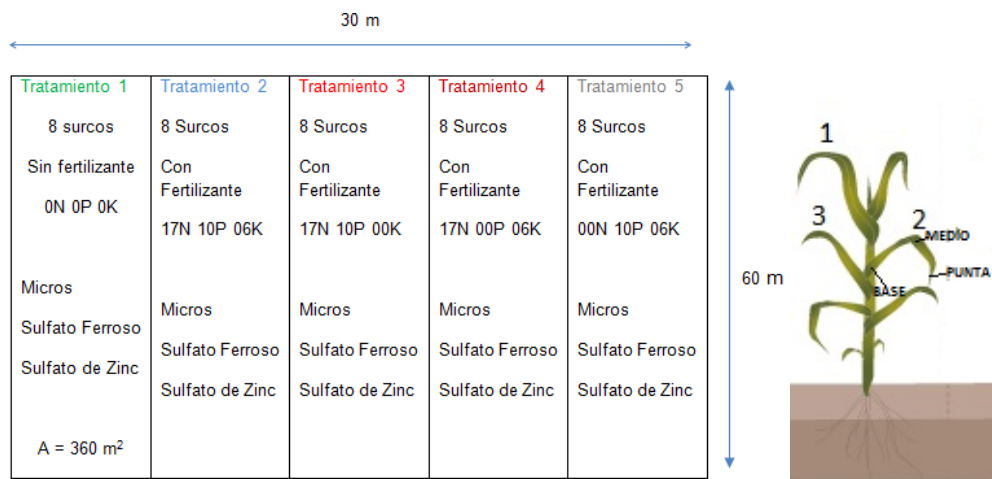


Figura 1 Diseño del experimento y hojas seleccionadas para el análisis.

Se recolectaron seis plantas, muestras para que estadísticamente tenga validez escogidas al azar, de cada tratamiento. De las cuales se tomaron tres hojas y tres zonas de la hoja indicadas en la figura 1.

El análisis de las muestras para la obtención de la firma espectral se realizó en el laboratorio de la División de Ingenierías de la U. de Gto. campus Yuriria con el espectrómetro HR4000 de la marca Ocean optics. Este espectrómetro cuenta con una resolución espectral de 0.26 nm y realiza mediciones de la reflectancia en un rango de los 200 a los 1200 nm. Esta información técnica es destacable puesto que aporta una



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

resolución 16 veces mayor que estudios similares realizados con anterioridad y en algunos casos hasta 40 veces.

III. RESULTADOS

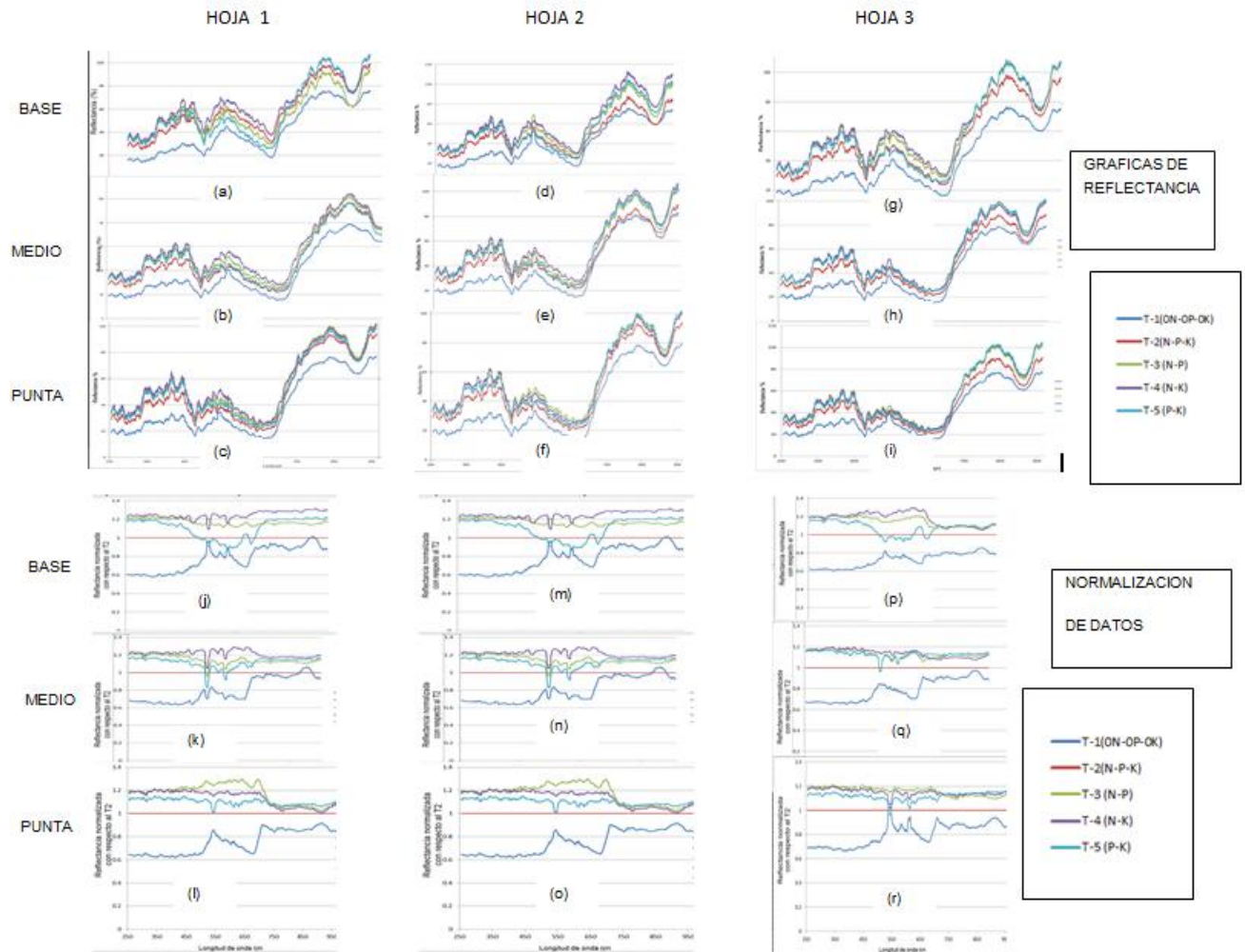


Figura 2. Gráficas de reflectancia y normalizadas de la respuesta espectral.

En la gráfica de reflectancia de la hoja 1 se observa que los tratamientos son diferenciables entre en las tres graficas pero es más notoria en la gráfica de la zona de la base (a) en el rango de longitudes de onda de 450 nm a 700 nm. Es evidente que los pigmentos de las hojas tiene un efecto sobre la reflectancia en el rango de luz



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

visible y por lo tanto esto están en función de la nutrición. Se puede observar que el tratamiento 1 (línea azul), el cual no tiene fertilizante, se separa fácilmente. En cambio el tratamiento 2 (línea roja) que contiene la fertilización es separable en el rango de los 250 nm y los 650 nm para las tres zonas de la hoja. En la gráfica de reflectancia de la hoja 2 (d) se observa una mayor separabilidad en los rangos de los 650 nm a los 970 nm. Sin embargo las gráficas (e) y (f) ofrecen poca separabilidad en el rango 450 nm a los 650 nm. Se observa poca separabilidad en el rango de los 500 nm a los 650 nm para la gráfica (g). En las gráficas (h) y (i) las líneas de reflectancias se cruzan entre sí por lo que no se observan zonas que permitan diferenciar los tratamientos. Las gráficas del inciso (i) al inciso (r) muestran los resultados del análisis de las firmas espectrales en la etapa V6 del maíz mediante una normalización. El proceso de normalización consiste en dividir cada uno de los datos de reflectancia entre el valor de reflectancia del tratamiento 2, con la finalidad de resaltar las diferencias entre los tratamientos y poder hacer un análisis visual. Esto nos indica que tanto se aleja o acerca los tratamientos 1, 3, 4 y 5 con respecto al tratamiento con fertilización completa (T2) el cual aparece como una línea recta de color rojo. En las gráficas (j) y (k) observamos una mayor separabilidad entre tratamientos comparado con la gráfica (l) donde la separabilidad de los tratamientos se observa en el rango de los 450 nm a los 700 nm. También se observa una separación muy notoria del tratamiento sin nutrientes (T1) del resto de los tratamientos con deficiencias (T3, T4 y T5). La gráfica (m) ofrece buena separabilidad de los nutrientes en el rango de los 700 nm hasta los 970 nm. En la gráfica (n) observamos poca separabilidad de los tratamientos. La zona que nos ofrece mejor separación de los nutrientes es la zona la punta (o) en los rangos de los 400 nm a los 650 nm. La gráfica (p) que corresponde a la hoja 3 en la zona de la base, es la que ofrece mayor separabilidad en los tratamientos en el rango de los 450 nm a los 750 nm. La gráfica (q) correspondiente a la zona media de la hoja no ofrece una separabilidad entre tratamientos. La gráfica (r) que corresponde a la



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

zona de la punta de la hoja ofrece una separabilidad menor rango de los 450 nm a los 750 nm.

IV. CONCLUSIONES

Se observa una separabilidad entre tratamientos de las gráficas de reflectancia y una mayor separabilidad en las gráficas normalizadas, esta separabilidad o diferenciación es más notoria en los tratamientos T1 (0N 0P 0K) el cual no contiene fertilizante y el T2 (N P K) el cual contiene una fertilización completa, para todas las gráficas. Con respecto a los tratamientos T3 (N P), T4 (N K), y T5 (P K) en las gráficas de reflectancia, se observa una buena separabilidad en la hoja 1 y en la hoja 2 en la zona de la base en el rango de los 450 nm a los 850 nm. La hoja 1 en la zona de la punta se observa buena separabilidad en el rango de 480 nm a 650 nm. La hoja 3 exhibe buena separabilidad en la zona de la base el rango de los 450 nm y 700 nm. Con respecto a las gráficas de reflectancia normalizada la hoja 1 y 2 en la zona de la base y zona media existe muy buena separabilidad, sobretodo en el rango del 250 nm y los 400 nm, que corresponde a la luz ultravioleta y buena separabilidad en rango visible del 450 nm y los 700 nm. El tratamiento T 5 (color cian) en el cual hay ausencia de nitrógeno es más diferenciable que el resto de los tratamientos, lo que resalta la importancia del macroelemento nitrógeno en la nutrición de la planta. La hoja 3 exhibe buena separabilidad en la zona de la base. Por lo anterior podemos concluir que las hojas que mejor permiten diferenciar entre deficiencias de nutrientes son la 1era y la 2da. y con respecto a la zona de la hoja (base, media y punta) que mejor exhibe deficiencias y por lo tanto los tratamiento son más diferenciables, es la zona de la base, sin embargo la zona media de la hoja también muestra buena separabilidad en las tres hojas analizadas.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

V. REFERENCIAS

- ANACOFER (2002). Asociación Nacional de Comercializadores de Fertilizantes. México. <http://www.anacofer.com.mx/> [Consulta: Abril, 2015, 9:00 am]
- Brown, Lester R. (2014). Many Countries Reaching Diminishing Returns in Fertilizer Use. Documento electrónico. http://www.earth-policy.org/data_highlights/2014/highlights43 [Consulta: Mayo 20, 2015, 9:00 am]
- Chen L, Lin L, Cai G, Sun Y, Huang T, Wang, K, (2014) Identification of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Deficiencies in Rice Based on Static Scanning Technology and Hierarchical Identification Method. PLoS ONE 9(11):1–17.
- Christensen, L. K., (2004). NPK Deficiencies Discrimination by use of Spectral and Spatial Response. Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Sciences, Agro Technology The Royal Veterinary and Agricultural University Denmark, p. 4 – 7.
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E. and McMurtrey III J. E (2000), Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. Remote Sens. Environ. 74:229–239.
- FAO (2002). Los fertilizantes y su uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. Documento electrónico. <ftp://ftp.fao.org/aql/aqll/docs/fertuso.pdf> [Consulta: Marzo, 2015, 12:00 am]
- SAGARPA (2013 – 2018). Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. Documento electrónico: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/leytransparencia/Programa_Sectorial_Desarrollo_Agropecuario_Pesquero_Alimentario_2013-2018.pdf
- FAO/IAEA (Food and Agriculture Organization, International Atomic Energy Agency). 2000. Optimizing nitrogen fertilizer application to irrigated wheat. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1164_prn.pdf (Consulta: Abril 23, 2015)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

- Oi Wah L et al., (2008). Signature Optical Cues: Emerging Technologies for Monitoring Plant Health. *Sensors*, 8, pp. 3205-3239
- Thomas, S.C. (2005). Increased leaf reflectance in tropical trees under elevated CO₂. *Global Change Biology* 11, 197–202.
- Solari, F., Shanahan, J., Ferguson, R. B., Schepers, J. S. and Gitelson, A. A. (2008). Active Sensor Reflectance Measurements of Corn Nitrogen Status and Yield Potential. *Agronomy Journal*. Volume 100:571–579.
- Ozyigit, Y. and Bilgen, M. (2013). Use of Spectral Reflectance Values for Determining Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Contents of Rangeland Plants. *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 15: 1537-1545.
- Fitzgerald, G.J., Rodriguez, D., O’Leary, G. (2010). Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index, the canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research* 116 (2010) 318–324.
- Hatfield J.L., Gitelson A. A. and Schepers J. S. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy J.* 100:117 - S-131.
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-González, R. G., Contreras-Medina L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivares, J., Ocampo-Velázquez, R. V. (2013). A Review of Methods for Sensing the Nitrogen Status in Plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances. *Sensors* 2013, 13, 10823-10843.
- Hoffer, R. M., 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data, *Remote Sensing: The Quantitative Approach*, P.H. Swain and S. M. Davis, editors, McGraw-Hill, New York.
- Zwiggelaar, R. 1988. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. *Crop Protection*. Volume 17, Issue 3, May 1998, Pages 189–206
- Mengel, K., Kirkby E. 2000. *Principios de Nutrición Vegetal*. 4ta ed. 11 – 18 p. Versión Digital.