

DISCRIMINACION OPTICA DE SOJA [*Glycinemax (L.) Merr.*] Y UNA DE SUS PRINCIPALES MALEZAS, COMO HERRAMIENTA DE DECISION EN EL CONTROL SITIO ESPECIFICO DE HERBICIDA

Ma. Lucrecia Perona¹, Horacio A. Acciaresi^{1,2}, Francisco J. Navarrete³, Christian Weber^{1,4,5}

¹ Comisión de Investigaciones Científicas CIC-PBA. Calle 526 entre 10 y 11, CP 1900, La Plata, Buenos Aires.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, Pergamino. Av. Frondizi (Ruta 32) Km 4,5, CP 2700. Pergamino. Buenos Aires.

³ Becario UNLP. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Calle 60 y 119, CP 1900, La Plata, Buenos Aires.

⁴ Unidad Promocional de Investigación en Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica Aplicados, Centro de Investigaciones en Sanidad Vegetal (CISaV), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Calle 60 y 119 CP 1900, La Plata, Buenos Aires.

⁵ Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-CIC). Cno. Parque Centenario e/ 505 y 508 Gonnet. C.C. 3 (CP 1897) Gonnet, Buenos Aires.

lucreciaperona@gmail.com, acciaresi.horacio@inta.gob.ar, franijm@hotmail.com, cweber@ciop.unlp.edu.ar

PALABRAS CLAVE

Percepción remota

Firmas espectrales

Sorgo de Alepo

RESUMEN: La expansión de cultivares de soja resistente a glifosato (SoRR), la consolidación de la siembra directa y el uso de herbicidas, han determinado una presión de selección sobre las malezas, redundando en una disminución en la diversidad de especies y evolución de biotipos resistentes como el sorgo de Alepo (Sh). Sin embargo, la aplicación de herbicidas es fundamental para controlar malezas en la agricultura moderna. Los avances tecnológicos en términos de sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, junto a desarrollos de equipos de precisión para la aplicación variable de herbicidas, muestran que la posibilidad de tratamientos localizados con herbicidas es una realidad hoy en día. La discriminación entre malezas y suelo o en barbecho, es sencilla de realizar con pocas longitudes de onda. Sin embargo, tal discriminación en cultivos implantados, requiere de más bandas. Esto puede realizarse mediante sensores hiperespectrales, donde los datos pueden ser utilizados para el reconocimiento de diferentes tipos de vegetación. En este estudio, se llevaron a cabo ensayos para examinar el uso de curvas de reflectancia espectral en la discriminación de SoRR y Sh. Las curvas espectrales mostraron una adecuada diferenciación entre maleza y cultivo. Esta información podría ser útil para la aplicación sitio específica de herbicidas.

OPTICAL DISCRIMINATION OF SOYBEAN [*Glycine max (L.) merr.*] AND ITS MAIN WEEDS AS DECISION TOOL TO SITE-SPECIFIC HERBICIDE CONTROL

KEYWORDS

Remote sensing

Spectral signatures

Johnsongrass

ABSTRACT: The expanding glyphosate-resistant soybean cultivars (SoRR), herbicides use, as main weed's control tool as well as the no-till system, has meant a selection pressure over weeds, these result in a species diversity decreases and resistant biotypes evolution, as an example, the Johnsongrass (Sh). However, herbicides application is essential for weed control in modern agriculture. Technological advances in terms of global positioning systems, geographic information systems, along with precision equipment development to herbicides application, show that, the variable rate herbicides treatments is a reality today. Discrimination between weeds/soil or fallow, are simple to take with a few wavelengths. However, this discrimination with the crop established, requires many more bands. This can be done with hyperspectral sensors, where the data are collected simultaneously in hundreds of adjacent spectral bands, and can be used to different vegetation types recognition. In this study, experiments were conducted to examine the use of spectral reflectance curves for discriminating between SoRR and Sh. The spectral signatures, showed adequate discrimination between weed and crop. This information may be useful for site specific herbicide application.

INTRODUCCION

A pesar del importante desarrollo alcanzado en el uso de herbicidas, la erradicación de las malezas de los sistemas productivos no ha sido posible. La consolidación del modelo productivo basado en la ausencia de labranzas, el empleo de herbicidas, donde el glifosato, resulta casi exclusivo y las escasas o nulas rotaciones con cultivares resistentes a herbicidas (crh), trajo como consecuencia inmediata una disminución en

la diversidad productiva [1], [2]. Así, la amplia adopción de los crh y el subsecuente uso de glifosato, ha significado una importante presión de selección para las malezas que no son controladas por este herbicida. Asociado con un uso inapropiado de esta tecnología, se ha detectado un incremento en el número y densidad de biotipos o de especies que logran sobrevivir a los tratamientos con glifosato [3], así, ya se ha documentado

la resistencia a glifosato en biotipos de *Sorghum halepense*, *Lolium (perenne y multiflorum)*, en distintas áreas productivas de nuestro país [4]. Este hecho cobra relevancia si se tiene en cuenta la importante habilidad competitiva que han demostrado *S. halepense* como *L. multiflorum* en los agroecosistemas nacionales [5]. Por otra parte, el reiterado uso de glifosato ha puesto de manifiesto la tolerancia existente en distintas especies de malezas [6]. Un aspecto que no puede obviarse, es el impacto que posee un herbicida en un sistema productivo a partir de la aplicación homogénea que del mismo se hace. En la actualidad los herbicidas son aplicados en forma uniforme en el predio, aun cuando la distribución de las malezas sigue un patrón no uniforme [7], encontrándose comúnmente en manchones, parches o rodales. Sin embargo, existen posibilidades para ajustar el uso de insumos de acuerdo con el criterio de manejo sitio específico, es decir aplicando las reales necesidades en cada unidad de lote [8].

Los sensores ópticos pueden ser una herramienta útil en la delimitación de zonas infestadas con malezas y determinar su presencia en manchones. La percepción remota puede combinarse a su vez con pulverizadoras para permitir la aplicación de herbicidas, la ventaja de la aplicación en tiempo real radica en permitir el mapeo y control de manera sincrónica y generar mapas de aplicación que pueden ser comparados luego con otro grupo de datos. Además, puede citarse la oportunidad de detección de malezas no sólo previo a la instalación del cultivo sino en post-emergencia donde puede aparecer algún escape a tratamientos realizados previo a la instalación del cultivo [10]. El propósito general de la percepción remota de malezas atiende a mapear la variabilidad espacial de la presencia de malezas para permitir un manejo y/o control sitio-específico de las mismas. La Teledetección de malezas es útil para discriminar especies según las diferencias existentes entre firmas espectrales. Las áreas infestadas con malezas tienen una respuesta espectral que es característica de la abundancia y tipo de malezas y se presentan a su vez en una distribución espacial en manchones o parches que difieren significativamente de aquellas que no las poseen [17].

Cuando se consideran ambientes de gran heterogeneidad y en estados de crecimiento intermedios y avanzados, surge la importancia del uso de información hiperespectral, (resoluciones espectrales menores a 5 nm), la cual no solo permitiría la discriminación de las malezas con el cultivo emergido, sino también la discriminación entre estas últimas, sobre todo en casos en que existen diferencias botánicas importantes entre ellos (i. e. dicotiledóneas vs. gramíneas) [9] aunque esto último, resulta un área en pleno desarrollo actual.

La discriminación entre las malezas y el suelo o el rastrojo es relativamente sencilla de realizar a través de algunas longitudes de onda. De esta forma, las zonas cubiertas de vegetación pueden ser tratadas inmediatamente con un herbicida total. Sin embargo, en la actualidad el desafío es poder aplicar el concepto del enfoque "en tiempo real" para tratamientos de malezas presentes dentro de un cultivo. Para ello es necesario desarrollar tecnología y metodología de discriminación espectral que permita diferenciar los estratos herbáceos perteneciente a un cultivo de aquellos pertenecientes a las malezas presentes. El trabajo aquí presentado representa una línea de trabajo que el grupo viene desarrollando en los últimos cinco años en colaboración con grupos interdisciplinarios con representantes de la física, la electrónica e ingeniería. El estudio de las firmas espectrales de malezas y cultivos es

M.L. Perona et al. / Inv. Jov. 2 (2) (2015) 46-50

potencialmente una valiosa herramienta que permitiría identificar a las malezas dentro de los cultivos y ayudaría en la generación de modelos para estudiar su comportamiento y establecer mecanismos de control más adecuados que los actualmente utilizados. El objetivo de este trabajo es lograr la discriminación por medios ópticos, de soja y una de sus principales malezas, el sorgo de Alepo.

METODOLOGÍA

Las medidas radiométricas fueron obtenidas mediante espectrorradiómetros pasivos (es decir utilizan la luz solar como fuente de iluminación) los cuales toman datos en estrechas bandas espectrales, con anchos de banda de 1 nm., entre los 450 y 900nm. Se tomaron 3 muestras para SoRR en el estado fenológico V2 [16] (segundo nudo y primer hoja trifoliar expandida) y en el estado reproductivo R2 [16] (plenitud de floración); en Sh las medidas se realizaron en plantas con 3 y 5 hojas desplegadas. Ambas especies se asentaron sobre suelo de iguales propiedades ópticas. Las plantas fueron mantenidas en un invernáculo con condiciones de temperatura y humedad controladas.

Las medidas se hicieron en horas del mediodía donde se encuentra el menor camino óptico, la mayor sensibilidad y el menor impacto de agentes perturbantes atmosféricos en las respuestas espectrales. Los datos espectrales se registraron como valores de reflectancia y luego fueron importados a una hoja de cálculo para su posterior análisis. Se trazaron los espectros individuales y se examinaron para no incorporar valores erróneos en análisis posteriores.

Los valores de reflectancia fueron calculados como factores, entre la señal del objeto en estudio y la obtenida mediante la duplicación de los canales ubicados hacia la radiación incidente (cielo), obteniéndose así una detección sincrónica de señales, objeto y fuente [11].

Así el valor de reflectancia calculada para cada canal ó λ corresponderá a:

$$R_{\lambda} = \frac{R_{S\lambda} - Z_{\lambda}}{R_{i\lambda} - Z_{\lambda}}$$

Donde $R_{S\lambda}$ es la señal desde la vegetación y el suelo en la banda λ , $R_{i\lambda}$ es la señal de luz incidente o referencia (cielo en este caso) para la misma λ , y finalmente Z_{λ} es la medida oscura o corriente oscura en ese canal y para ambos referencia y objeto de estudio por separado.

Los datos generados por el radiómetro, una vez pasados a una planilla de cálculo, fueron ponderados en función del tiempo de integración (tiempo de apertura de la ventana que permite el ingreso de la luz hacia los elementos sensores del radiómetro) de las medidas. Así, la intensidad registrada para cada banda espectral es proporcional al tiempo de apertura, dependiendo de la intensidad de la fuente de iluminación para cada una de estas bandas. El espectrorradiómetro utilizado posee un rango óptimo de intensidades de 3000 a 5000 cuentas, razón por la cual, los tiempos de integración (milisegundos) fueron variables en cada medida (cielo/vegetación/fecha) en función de ubicar las medidas dentro de este intervalo. Como consecuencia de ello los tiempos de integración para cada medida, fueron diferentes, por lo que para no incorporar otra variable de estudio, los mismos fueron equiparados previo a cada una de las combinaciones realizadas (SoRR/Sh).

Se seleccionaron los valores correspondientes a las longitudes de onda de los 450 a los 900 nanómetros, debido a que por debajo y por encima

de este rango no se verifica información relevante a los objetos de estudio. Luego se graficaron los valores de reflectancia de SoRR y Sh y se realizó una comparación de curvas de las dos especies en distintos estadíos:

a. Debido a que ante un mal manejo del barbecho es plausible el escape de malezas se combinaron curvas de SoRR en V2, donde se identifica el periodo crítico de control tardío (PCTA), con Sh en 5 hojas.

b. Con posterioridad se compararon los espectros de SoRR en R2 ya que es el estado donde se reconoce el periodo crítico de control temprano (PCTE) con Sh 3 y 5 hojas desplegadas, situación que se correspondería con una emergencia posterior de la maleza en el cultivo establecido.

Adicionalmente y para estudiar la vegetación a partir de medidas de reflectividad con independencia de todos los factores que pudieran perturbar a la señal radiométrica, es decir establecer una relación entre la medida efectuada y los parámetros biofísicos que caracterizan una cubierta vegetal, es necesario derivar algún parámetro a partir de la reflectividad que normalice la influencia de todos los factores perturbadores (suelo, polvo atmosférico, etc.), de forma que este parámetro adopte el mismo valor para una cantidad de vegetación dada aunque ésta se asiente sobre suelos con propiedades ópticas distintas o la medida se realice bajo diferentes condiciones atmosféricas. La solución a este problema se ha abordado con el diseño de índices de vegetación (IV) [12]. Para tal fin se han propuesto el "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), este índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie [13] y es ampliamente utilizado en trabajo de percepción remota.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Donde NIR es la reflectividad en el infrarrojo cercano (816 nm) y RED es la reflectividad en el rojo (654nm).

Del mismo modo se utilizaron otros índices conocidos a saber:

$$\text{"Ratio Vegetation Index" } RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Donde NIR: 816 nm y RED: 654 nm.

$$\text{"Green NDVI" } GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

Donde NIR: 816 nm y GREEN: 550 nm.

$$\text{"Advanced normalized vegetation index" } ANVI = \frac{(NIR - B)}{(NIR + B)}$$

Donde NIR: 816 nm y B: 475nm.

Se graficaron los espectros normalizados y promediados de cada una de las especies consideradas y de manera de poner en evidencia la no correspondencia entre las dos curvas obtenidas (curva verde) se procedió a dividir entre ellas a las firmas espectrales propias a cada especie considerada.

RESULTADOS Y DISCUSION

En primera instancia se procedió a comparar las medidas radiométricas de SoRR en V2, con las de Sh en 5 hojas desplegadas, de manera tal de simular el crecimiento en conjunto de ambos que cabría esperar ante un escape de la maleza al control realizado durante el período de barbecho.

El cultivo de soja en V2 atraviesa el PCTA, es decir el máximo periodo de tiempo en el cual un cultivo puede crecer y desarrollarse con malezas sin afectar el rendimiento [14]. En este sentido es vital el manejo de las mismas durante el periodo de barbecho. No obstante se pueden producir escapes de malezas al control, debido a diversos factores como pueden ser, fallas en la aplicación, mala calidad de la formulación, dosis insuficientes, condiciones ambientales inadecuadas o a mecanismos de resistencia o tolerancia al principio químico aplicado.

En dicho estado fenológico, la soja posee aún una escasa capacidad competitiva, ya que, la insuficiente superficie foliar permite dejar claros en el terreno, que favorecen a la maleza en la captación de luz, agua y nutrientes. De todas formas la intensidad y la duración de la competencia, es el resultado de una función compleja en la que intervienen diversos factores como los recursos disponibles y el manejo del sistema (secuencias y tipos de cultivos, fecha de siembra, cultivares, distribución espacial, densidad) [5].

En la figura 1 se puede observar que las curvas de reflectancia de ambas especies siguen el mismo patrón de distribución aunque con diferentes intensidades, siendo visualmente similares. Sin embargo, al realizar el cociente entre los espectros de las especies se pone en evidencia sus diferencias.

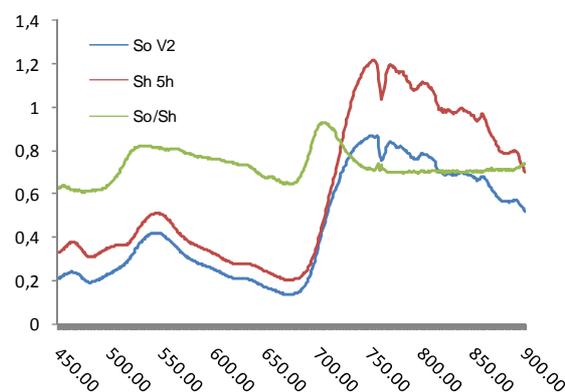


Figura 1. Curvas de reflectancia (fracción) representando la intensidad reflejada para cada longitud de onda para el rango de 450 a 900 nm. Rojo: Sh en el estadio de 5 hojas; Azul: SoRR en el estadio V2; verde: relacionSoRR/Sh.

La importancia de la detección de la maleza en los estadíos medidos anteriormente, radica en la relación existente entre la aparición de biomasa aérea de la maleza y la biomasa de rizomas que se hace mínima en primavera. Este momento podría considerarse como un periodo crítico para la perpetuación de la maleza, ya que el hecho de afectar la producción de biomasa aérea a partir de la detección de la misma y la aplicación de herbicidas (con ello la reducción de la producción de nuevos rizomas) perjudica significativamente la dinámica poblacional de la maleza [5]. Lo mencionado hasta aquí, apunta a la optimización de la eficiencia del método de control, sabiendo que la aplicación de un método determinado (herbicidas) [12] en el momento en que la maleza presenta un mínimo en la biomasa de rizomas optimiza su eficiencia.

Por otro lado, en el comienzo del periodo de llenado de granos, el cultivo se encuentra en pleno periodo crítico, es decir, cualquier factor que afecte

sensiblemente su crecimiento va a limitar el número de granos fijados y por ende el rendimiento final. Debemos considerar que el peso de mil granos tiene mucha plasticidad y que habitualmente la soja fija más granos de los que puede llenar. De no haber fijado una cantidad suficiente de granos el peso final de los mismos puede compensar en parte la pérdida del número. Esto ocurre si hay buenas condiciones en el llenado y el cultivo tiene buen IAF [15]. De aquí la importancia de evaluar el cultivo de soja en estado R2, con el Sh en los estados de 3 y 5 hojas expandidas, ya que como fue expresado, la soja se encuentra alrededor de su PCTE y es esencial favorecer su habilidad competitiva para no resentir el rendimiento. Sumado a esto el control de Sh en estados tempranos es más eficiente que en reproductivos, por lo tanto es de suma importancia poder identificar y controlar a la maleza en dichos estadios, de manera de evitar la aplicación de herbicidas uniformemente en todo el lote, lo cual redundaría en un abuso en la utilización de herbicidas provocando cambios sustanciales en las comunidades de malezas como consecuencia de la selección de genotipos oportunistas, sumamente competitivos o incluso el escape al control de muchas especies no deseadas [1]. Como se aprecia en las figuras 2 y 3 la diferencia en las curvas de reflectancia de SoRR y Sh en estados tempranos permiten diferenciarlos lo que facilitaría su control, y al dividir los espectros de cada especie se ponen de manifiesto sus diferencias.

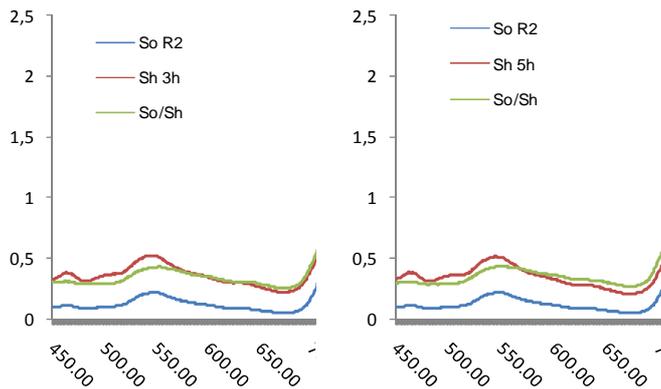


Figura 2. Curvas de reflectancia representando la intensidad reflejada para cada longitud de onda para el rango de 450 a 900nm. Rojo: Sh en 3 hojas; Azul: SoRR en el estadio R2; verde: relación SoRR/Sh.

Figura 3. Curvas de reflectancia representando la intensidad reflejada para cada longitud de onda para el rango 450 a 900nm. Rojo: Sh en 5 hojas; Azul: SoRR en el estadio de R2; verde: relación SoRR/Sh.

Tal como se observa en las figuras 1 a 3 es evidente la diferencia en intensidad de cada una de las especies estudiadas y para cada banda, sin embargo el cociente entre las mismas representaría una línea si las diferencias fueran proporcionales, cuestión que a la vista de los resultados no se cumplió.

A continuación se procedió a calcular diferentes índices de vegetación conocidos, utilizando bandas espectrales particulares, obtenidas de estos espectros. Este procedimiento fue llevado a cabo de manera de resaltar las diferencias observadas entre los espectros de las especies estudiadas. Los mismos se representan gráficamente en las figuras 4, 5 y 6.

Como puede verse, para cada combinación de estadio fenológico cultivo-maleza, existen diferencias evidentes en RVI y en GNDVI, en cambio para NDVI y el ANVI solo son notorios en la combinación SoRR V2/Sh 5 hojas,

no pudiendo establecer diferencias apreciables en las demás combinaciones probadas.

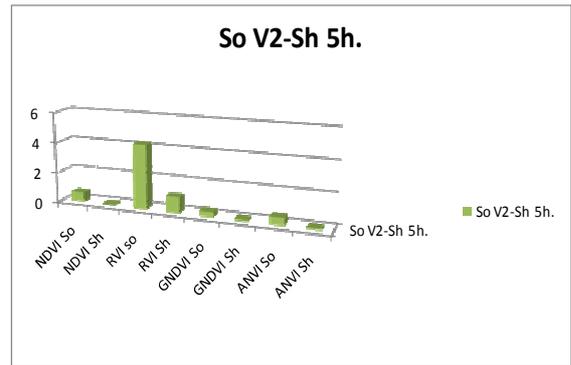


Figura 4. Representación gráfica de los índices de vegetación: NDVI; RVI; ANVI y GNDVI, para SoRR V2 y Sh 5 hojas.

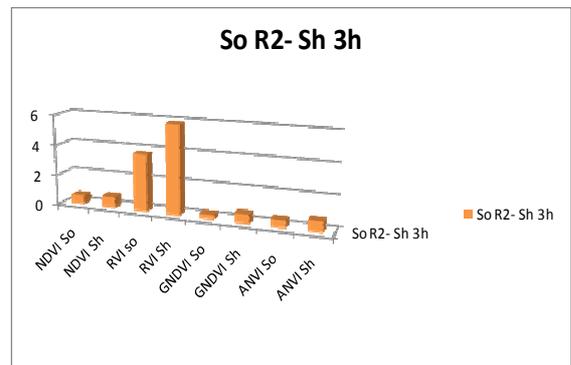


Figura 5. Representación grafica de los índices de vegetación: NDVI; RVI; ANVI Y GNDVI, para So RR R2 y Sh 3 hojas.

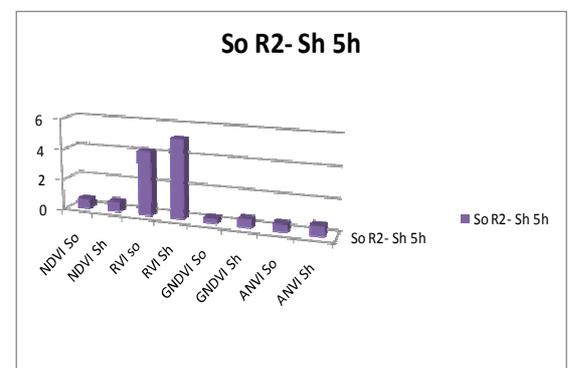


Figura 6. Representación grafica de los índices de vegetación: NDVI;RVI;ANVI y GNDVI, para SoRR R2 y Sh 5 hojas.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados permitieron obtener una base de firmas espectrales de sorgo de Alepo (maleza con resistencia probada a glifosato) y compararlos con los obtenidos en el cultivo de soja con resistencia a glifosato, en los periodos de competencia tardíos y tempranos, verificando diferencias en los espectros de ambos, en todos los casos, cuestión que no se comprobó mediante intervalos de bandas finitos utilizados en la confección de índices de vegetación, por lo expuesto precedentemente el uso de firmas espectrales representaría una posibilidad de manipular información espectral para realizar la detección de la malezas con en el cultivo implantado y constituir una herramienta a ser usada en la aplicación de herbicidas de manera localizada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado con aportes de la CIC-PBA, la UNLP, y el PICT 2187 de la ANPCyT.

REFERENCIAS

- [1] L. Nisensohn, D. Tuesca. "Evaluación del efecto de dosis de glifosato sobre plantas de *Commelina virginica* en diferentes estados de desarrollo." *Congreso Merco-soja 1*, **1999**, 57-58.
- [2] J.C. Papa. "Malezas tolerantes a glifosato. Determinación de la tolerancia de glifosato para el control de *Dicyleptera tweediana*". *Rev. Soja* **36**, **2007**, 76-78.
- [3] T. Webster, R. Nichols. "Changes in the Prevalence of Weed Species in the Major Agronomic Crops of the Southern United States: 1994/1995 to 2008/2009". *Weed Sci.* **60** (2), **2012**, 145-157.
- [4] M. Yannicari. "Inheritance of glyphosate resistance in *Lolium perenne* and hybrids with *Lolium multiflorum*". *Crop Prot.* **71**, **2015**, 72-78.
- [5] F. Leguizamón, H. Acciaresi. *Malezas e Invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo* Editorial UNS. **2014**.
- [6] E. Puricelli, D. Tuesca. "Riqueza y diversidad de malezas en trigo y barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato". *Agriscientia*, **22**, **2005**, 69-78.
- [7] C. Fernández Quintanilla, J. Barroso, D. Ruiz, A. Ribeiro, B. Díaz. "Diseño de un programa de tratamientos de precisión para el control de *Avena sterilis* en cereales". Proceedings of VIII Congress of the Spanish Weed Society, **2001** 183-188.
- [8] E. Cid. "Mapeo de malezas para aplicaciones sitio específicos" Resúmenes de trabajos presentados: 10^a curso Internacional de Agricultura de Precisión, **2011**, 71-76.
- [9] C. Weber. "Sensores remotos y aplicación sitio-específica de herbicidas". En *Malezas e Invasoras de la Argentina*, Edi UNS, **2014**, 889 - 907.
- [10] K. Thorp, L. Tian. "A review on remote sensing of weeds in agriculture". *Precision Agric.* **5** (5), **2004**, 477-508.
- [11] C. Weber, D.C. Schinca, J.O. Tocho, F.A. Videla. "Passive field reflectance measurements". *J. Pure Appl. Optics*, **10**, **2008**, 20- 28.
- [12] M. Gilabert, J. González-Piqueras, J. García Haro. "Acerca de los índices de vegetación". *Rev de Teledetección*, **8**, **1997**, 35-45.
- [13] M. Duan, Q. Gao, Y. Wan, Y. Li, Y. Guo, Z. Ganzhu, Y. Liu, X. Qin "Biomass estimation of alpine grasslands under different grazing intensities using spectral vegetation indices". *Can. J. Remote Sensing*, **37** (4), **2011**, 413-421.
- [14] E. Satorre . R. L. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin. *Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo* FA-UBA., 2012, 785.
- [15] J. Massigoge, F. Ros. *Soja de segunda: manejo de grupos según fecha para maximizar el rinde.* (on line). Buenos Aires, INTA., 2012. Disponible en línea: <http://inta.gob.ar/documentos/soja-de-segunda-manejo-de-grupos-segun-fecha-para-maximizar-el-rinde-1/>. Consultado 28 de mayo **2015**.
- [16] W.R. Fehr, C. E. Caviness, D. T. Burmood, J. S. Pennington. "Stage of Development Descriptions for Soybeans, *Glycine max (L.) Merrill*." *Crop Sci.*, **11**, **1971**, 929-931.
- [17] F. Lopez-Granados. "Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches". *Weed Res.*, **51**, **2011**, 1-11.