



Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Informe Trabajo final de carrera

**DISCRIMINACIÓN ÓPTICA DE TRIGO Y RAIGRÁS MEDIANTE INFORMACIÓN
ESPECTRAL Y ANÁLISIS MULTIVARIADO**

Nombre de los alumnos: Batac, Juan Patricio; Fuentes, Ignacio

Director del trabajo: Weber, Christian

Co-Director: Navarrete, Francisco Javier

Fecha de entrega: 2017

Modalidad: Investigación sobre una temática específica de la carrera

Índice

RESÚMEN	3
INTRODUCCIÓN	3
Objetivos	12
Hipótesis.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS	18
DISCUSIÓN.....	22
CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA ELABORADA O PRODUCIDA. MATERIAL DIDÁCTICO ELABORADO	25
APÉNDICES	31

RESÚMEN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el principal cereal de invierno sembrado en la Argentina, y uno de los principales cultivos del país, en importancia agronómica y económica. El raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.) es una de sus principales malezas que inciden sobre el resultado final del cultivo. La información espectral obtenida con sensores remotos puede ser una importante herramienta y fuente de información sobre cultivos y malezas. La misma puede ser utilizada para diferenciar a los mismos por medio del estudio de las firmas espectrales que cada uno posee. En este trabajo, mediante el estudio de firmas espectrales obtenidas con un sensor hiperespectral y su posterior procesamiento, junto a la utilización de análisis estadísticos, se logró diferenciar el trigo de esta maleza. Los resultados obtenidos demuestran la importancia del uso de información espectral para la discriminación de cultivo-maleza, y la factibilidad de su uso para futuras investigaciones.

Palabras clave: firmas espectrales, sensores remotos, agricultura de precisión.

INTRODUCCIÓN

Argentina, por sus características en cuanto a diversidad edafoclimática y extensión territorial, es uno de los principales productores de granos del mundo. Dentro de las producciones, cabe destacar como cultivos estivales a la soja (*Glycine max* L.) con 20,1 millones de ha y una producción estimada de 56 millones de toneladas para la actual campaña 15/16, y el maíz (*Zea mays* L.), el cual para la campaña 15/16 ocupó una superficie de 3,3 millones de ha, estimándose la producción en 25 millones de toneladas

(BCBA web, 2016). Para cultivos invernales, el principal es el trigo, con 3,6 millones de ha sembradas y una producción total de 10,3 millones de toneladas para la última campaña (BCBA web, 2016).

El manejo de las adversidades bióticas es decisivo a la hora de lograr mantener y/o aumentar la producción por unidad de superficie de los cultivos de grano. De estas adversidades, las malezas constituyen uno de los factores de mayor importancia, ya que estas pueden afectar al cultivo de manera directa, *i.e.* liberando sustancias que reducen el crecimiento de los cultivos y explotando los recursos (agua, luz y/o nutrientes) que podrían estar disponibles para el cultivo durante su ciclo de crecimiento (competencia); y/o también en forma indirecta, *i.e.* dificultando la preparación de la cama de siembra, contaminando el producto cosechado y disminuyendo su calidad comercial, dificultando las labores de cosecha, aumentando el riesgo de plagas y enfermedades y actuando como hospedantes de las mismas y generando pérdidas económicas por mermas de rendimiento, menor calidad de granos y aumento en los costos de cosecha (De Prado *et al.*, 2009; Guglielminiet *al.*, 2004; Koch, 2012).

De todos ellos, la competencia es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad, definiendo dicha competencia como el proceso a través del cual las plantas comparten recursos que están provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Kruk y Satorre, 2004). En el cultivo, existe una competencia deseable e intencionada entre las plantas que lo componen. Al ser esta competencia entre plantas de una misma especie, se denomina intraespecífica. Mediante la correcta selección de la densidad de siembra, un cultivo creciendo en condiciones de elevada competencia, es capaz de maximizar la utilización de los recursos por unidad de área y su rendimiento (Satorre, 1999; Kruk y Satorre, 2004). Si las malezas

ingresan a un sistema establecido quebrantan el equilibrio que se busca obtener, al definir la densidad de siembra y otras prácticas de manejo para lograr obtener la mayor productividad por unidad de superficie, aumentando la competencia entre las plantas que componen el sistema productivo. En este sentido, podemos definir otro tipo de competencia y es aquella que se produce entre individuos de diferentes especies como la que se puede generar entre maleza-cultivo o diferentes malezas entre sí y se denomina interespecífica (Kruk y Satorre, 2004).

Por otra parte, la plasticidad en el crecimiento, los mecanismos de tolerancia a estrés por competencia de cada especie, las condiciones del suelo, el clima y el momento de emergencia de las malezas con relación al cultivo, determinará las respuestas en materia seca total y rendimiento ante aumentos en la densidad de plantas por unidad de superficie (Andrade, 1995; Guglielminet *al.*, 2004; Kruk y Satorre, 2004).

La comunidad de malezas que se encuentra en un cultivo de invierno como el trigo, es el resultado de una serie de factores interrelacionados que dirigen una microsucesión, la cual se inicia con la preparación de la cama de siembra. Las especies y la abundancia dependen de las infestaciones de los años precedentes, de la historia del lote y del manejo que se hace de este para el cultivo actual. Las condiciones climáticas suelen afectar la intensidad de enmalezamiento. La mínima labranza favorece a especies cuyas semillas tienen poca dormición y pueden germinar rápidamente en la superficie del suelo, o que necesitan de una amplitud térmica considerable. Otro factor que afecta a la abundancia y distribución de la flora es el régimen de herbicidas utilizados en los cultivos predecesores: la continua aplicación de herbicidas hormonales en trigo favorece, con el paso de los años, el incremento de poblaciones de gramíneas en general. (Leguizamón y Puricelli, 2004)

La complejidad en el manejo de las malezas se ha incrementado de manera exponencial en los últimos años, donde comenzaron a emerger nuevos biotipos de malezas resistentes y/o tolerantes a los principales principios activos utilizados para su control, elevando los costos y los desafíos de los agricultores (Hadair, 2012). En nuestro país y particularmente en las últimas décadas, el enfoque más utilizado para solucionar el problema de malezas consistió en el control químico con herbicidas. Una de las razones de este predominio radica en la relativa simplicidad de la tecnología, que permite su empleo aún con conocimientos escasos de los fundamentos en que se sustentan su uso (Tuesca, 2011). No se tuvo en cuenta, sin embargo, que la repetitividad de un método de control determina una presión de selección tal en las comunidades de malezas que ciertos individuos ("biotipos"), que poseen la capacidad natural y heredable de sobrevivir y reproducirse luego de ser expuestos a un tratamiento herbicida, sobrevivan y comiencen a reproducirse hasta generar poblaciones enteras resistentes al herbicida en cuestión (Fischer, 2011; Leguizamon, 2007 y 2014).

Los individuos resistentes de ocurrencia natural resultan de mutaciones espontáneas de baja frecuencia (Fischer, 2011). La aparición de resistencia a los herbicidas es un proceso ecológico-evolutivo, influenciado por la interacción de numerosos factores; estos incluyen la química y la dosis de los herbicidas aplicados, las prácticas culturales del manejo de las malezas, las características ecológicas y biológicas de las especies de malezas, las condiciones ambientales y los posibles mecanismos bioquímicos y moleculares capaces de conferir resistencia efectiva, y su base genética subyacente (Manalil, 2014; Rentonet *al.*, 2014).

En Argentina el primer caso de resistencia a herbicidas se registró a comienzos de la década de los 90, en yuyo colorado (*Amaranthus quitensis* K.) por el abuso en el uso de

herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS). En esa misma década y con la llegada de la siembra directa como práctica revolucionaria en la conservación de los suelos, se evidenció un cambio sustancial en la flora de malezas con un aumento importante en la abundancia relativa de gramíneas y especies con semillas transportadas por el viento, y la disminución de latifoliadas anuales como, por ejemplo, el chamico (*Datura ferox* L.) (Leguizamón, 2007; Leguizamón, *et al.*, 2011; Puricelli y Tiesca, 2005).

En 1996 se incorporan al sistema productivo los cultivares de soja tolerantes a glifosato (soja RR) y, relacionado con características del herbicida tales como su costo relativamente bajo, simplicidad de uso, espectro amplio de control y gran selectividad, la diversidad de herbicidas utilizados comenzó a reducirse. Esta tecnología, contribuyó a la expansión del cultivo de soja hacia áreas donde en el pasado no era factible, así como a la consolidación del modelo productivo que predomina en la actualidad. Con posterioridad a la aparición de la Soja RR, surge el Maíz RR acentuando la utilización de dicho herbicida para controlar las malezas. La presión de selección ejercida por el conjunto de componentes de este modelo favoreció la manifestación de los problemas actuales de malezas caracterizados como a) malezas “duras” o de difícil control, o tolerantes a los herbicidas disponibles, en especial a glifosato y b) malezas resistentes a herbicidas, en especial a glifosato (Papa y Tiesca, 2014). Los mismos autores en concordancia con Leguizamón (2014) mencionan diversos factores como característicos del actual modelo productivo que han llevado a la manifestación de numerosos casos de tolerancia, así como resistencia a glifosato y a otros herbicidas de uso frecuente. Entre ellos vale destacar: la elevada dependencia del control químico - con predominio del glifosato - y el uso intenso de escasos modos de acción (hormonales e inhibidores de la ALS); escasez de rotaciones con una marcada tendencia al monocultivo de soja; ausencia o insuficiente

monitoreo de malezas durante el barbecho; subestimación de las malezas como adversidad biótica; percepción del sistema productivo como una entidad estática: no se reconoce la naturaleza biológica y dinámica del problema de malezas; alta rentabilidad concentrada en el corto plazo entre otros tantos. En lo que respecta a trigo, si bien hoy en día no se encuentran cultivares resistente a glifosato, los cambios generados en la flora de malezas debido a su excesivo uso y a la consolidación de la siembra directa impactaron también sobre dicho cultivo.

El modelo productivo, dejó de priorizar el uso de tecnologías de procesos en el manejo de las malezas, para pasar a utilizar mayormente tecnologías de insumos para poder controlarlas. En el país ya se ha documentado la resistencia a glifosato en biotipos de sorgo de alepo [*Sorghum halepense* (L.) Persoon.] (Delucchiet *al.*, 2005) y últimamente se registraron casos de resistencia múltiple para dicha maleza, es decir a más de dos principios activos con diferentes sitios de acción (Ustarroz, 2015). Para raigrás anual [*Lolium multiflorum* L.] también se encontró resistencia a glifosato, en el año 2007 (Diez De Ulzurrun *et al.*, 2007) y en 2008 para raigrás perenne [*Lolium perenne* L.] (Castro *et al.*, 2008). En el año 2010 se registró un caso de resistencia múltiple en *L. multiflorum* (Diez De Ulzurrun y Leaden, 2010). La “Red en Conocimiento de Malezas Resistentes” (REM, 2015) señala al género *Conyza spp.* como tolerante a glifosato y últimamente se detectaron en Entre Rios casos de resistencia en Rama negra [*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist.] (Puricelliet *al.*, 2015). Este hecho cobra relevancia si se tiene en cuenta la importante habilidad competitiva que han demostrado el sorgo de Alepo, rama negra y raigrás tanto anual como perenne en los agroecosistemas nacionales (Fernandezet *al.*, 2014 a; Istilart y Yanniccari, 2011; Metzleret *al.*, 2011 a, b).Yannicariet *al.* (2009) registró en el sudeste de la provincia de Bs.As (Coronel Dorrego), la presencia de raigrás perenne

resistente a glifosato. Istilart y Yannicari (2011), encontraron a su vez, que el raigrás fue la gramínea que más creció, registrando valores de constancia y frecuencia superiores al 50% en distintos relevamientos realizados. Asimismo, otra maleza de importancia, la rama negra, es considerada como se mencionó anteriormente, una especie tolerante a glifosato (Metzler *et al.*, 2011 a, b; REM, 2015).

Lo anterior pone de manifiesto uno de los problemas que es capaz de generar la incorrecta utilización de los herbicidas: la generación de resistencia y/o tolerancia en diversas especies. Sin embargo, el impacto que posee un herbicida en un sistema productivo es mayor, pudiendo acarrear complicaciones ambientales de importancia, afectando los recursos como suelo y agua. El problema se profundiza si añadimos que la aplicación de los herbicidas se realiza de manera homogénea dentro del predio, aun cuando la distribución de las malezas sigue un patrón no uniforme encontrándose comúnmente en manchones, parches o rodales (Andujaret *et al.*, 2011; Zimdhal, 2007).

Lo antedicho, plantea el desafío para la generación de nuevas herramientas y/o estrategias para poder manejar con un mayor grado de eficiencia a las malezas, con énfasis en aquellas resistentes y/o tolerantes. Para ello, es fundamental desarrollar nuevo conocimiento en esta área. Para intentar optimizar los sistemas de control, los conceptos de umbral económico (UE) y periodos críticos de competencia (PCC) ayudan a su determinación de manera objetiva (Guglielminiet *et al.*, 2004).

El PCC hace referencia al periodo libre de malezas (PLM), que es el periodo de tiempo, en el que el cultivo debe estar libre de las mismas, para que no se produzcan pérdidas significativas de rendimiento. A partir del PCC, se desarrollaron los conceptos de periodo crítico de control tardío (PCTA) y temprano (PCTE). En cuanto al PCTA, es el

periodo máximo de tiempo que un cultivo puede convivir con la maleza desde su siembra sin afectar el rendimiento. Más sencillamente define el periodo de aplicación de herbicidas en postemergencia sin afectar el rendimiento y el PCTE refiere al periodo mínimo en el que el cultivo debe permanecer libre de malezas para que su emergencia posterior no afecte el rendimiento. Ello, permite definir la residualidad de los herbicidas preemergentes (Guglielminiet *al.*, 2004). Esto plantea la necesidad de un abordaje diferente en el marco conceptual de simplificación de los sistemas productivos para pasar a un concepto más completo analizando todos los componentes del sistema y cómo estos se relacionan con el agroecosistema en el cual se encuentran insertos. No se trata de dejar de utilizar agroquímicos, sino de un cambio de enfoque y definición del problema (Fernandez *et al.*, 2014b; Metzler *et al.*, 2013).

Actualmente 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 (Thorp yTian, 2004). Esto lleva a aumentar la eficiencia de uso de los herbicidas, punto clave en el manejo integrado de las malezas (Fernandez *et al.*, 2014b). Los sensores ópticos pueden ser una herramienta útil en la delimitación de zonas infestadas con malezas y determinar su presencia en manchones. El propósito general del sensado remoto 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 (Cid, 2011; Weber, 2014). Dicha información puede combinarse a su vez con pulverizadoras para permitir la aplicación sitio-específica de herbicidas. El sensado remoto es útil para ello debido a que las áreas infestadas con malezas tienen una respuesta espectral que es característica de la abundancia y tipo de malezas presentes y que se presentan a su vez

en una distribución espacial en manchones o parches que difieren significativamente de aquellas que no las poseen (Weber et al., 2010).

La discriminación entre las malezas y el suelo o el rastrojo es relativamente sencilla de realizar a través de algunas pocas longitudes de onda (rojo-infra-rojo cercano) (WeedSeeker, Weber et al., 2010). De esta forma, las zonas cubiertas de vegetación pueden ser tratadas inmediatamente con un herbicida no selectivo. Sin embargo, en la actualidad el desafío es poder mapear la presencia de malezas con el cultivo emergido y en lo posible aplicar el concepto del enfoque "a tiempo real" para tratamientos químicos de malezas presentes dentro de un cultivo y en consonancia con los conceptos de PCTE y PCTA (Christensen *et al.*, 2009; López Granados, 2011). Aquí surge la importancia del uso de información hiperespectral, que permitiría no sólo la diferenciación del cultivo y las malezas, sino también la discriminación entre estas últimas. La utilización de sensores hiperespectrales (resoluciones espectrales menores a 5 nm.), permitiría la discriminación de las malezas/cultivo, una vez emergido éste, sobre todo en casos donde existen diferencias botánicas importantes entre ellos (i. e. dicotiledóneas vs. gramíneas) (Weber, 2014). Esto permitiría realizar aplicaciones sitio-específicas en post-emergencia del cultivo, donde puede aparecer algún escape a tratamientos realizados previo a la instalación del mismo (Pantaziet *al.*, 2016; Perona *et al.*, 2015).

La ventaja del sensado y 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 (Sistemas de información geográfica, SIG). Para ello es necesario desarrollar tecnología y metodología de discriminación espectral que permitan diferenciar los estratos herbáceos perteneciente a un cultivo de aquellos pertenecientes a las malezas presentes (Weber et al., 2010).

En este trabajo se estudió la respuesta espectral del trigo y raigrás en diferentes estadios fenológicos para los fines predichos.

Objetivos

Generales

- ✓ Obtener y estudiar la firma espectral de la maleza *Lolium multiflorum* L. con tolerancia/resistencia probada al herbicida glifosato en diferentes estadios fenológicos.
- ✓ Obtener y estudiar la firma espectral del cultivo de trigo [*Triticum aestivum* L.] en diferentes estadios fenológicos.
- ✓ Evaluar la posibilidad de utilizar esta información como base para la aplicación selectiva de herbicidas.

Particulares

- ✓ Comparar los diferentes espectros de la maleza y el cultivo en combinaciones de estadios fenológicos maleza/cultivo.

Hipótesis

- ✓ Mediante el estudio de firmas espectrales de la maleza *Lolium multiflorum* L. y el cultivo *Triticum aestivum* L. es posible identificar regiones espectrales características de las especies consideradas.
- ✓ La determinación de regiones espectrales características de cada especie posibilita su identificación mediante el uso de sensores remotos.
- ✓ Las regiones espectrales antedichas varían en función del estado fenológico estudiado en el sistema maleza-cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales vegetales utilizados:

- ✓ Trigo Baguete 801 (provisto por la Cátedra de Cerealicultura de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales)
- ✓ Raigrás anual (Resistente a Glifosato), provisto por el Ing. Agrónomo Yannicari (INTA Balcarce)

A partir de los materiales provistos, se procedió a realizar los ensayos en la Cátedra de Cerealicultura de la Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, ubicada en calle 60 y 117, Casco Urbano, 1900 La Plata, Buenos Aires. Los materiales que utilizados se encuentran adaptados a la zona donde se realizaron los ensayos (clima templado, temperatura media anual 16,3 °C, precipitaciones medias anuales 993,9, humedad cercana al 80 %).

Las macetas y tierra utilizadas en los ensayos fueron provistas por la Cátedra de Cerealicultura de la FCAyF, las mismas con dimensiones de 22 cm de diámetro y 40 cm de alto.

Las siembras se realizaron en 3 fechas diferentes, para poder realizar las medidas radiométricas en diferentes estadios fenológicos. Las mismas fueron las siguientes:

- 04/08/2016: Primer fecha de siembra
- 16/09/2016: Segunda fecha de siembra
- 26/09/2016: Tercera fecha de siembra

Cada siembra contemplaba 5 macetas de trigo, sembradas en hilera (11/13 semillas por maceta, 2 cm de profundidad), y 5 macetas de raigrás, sembradas al voleo (un puñado, 2 cm de profundidad), quedando el ensayo final con 15 macetas de cultivo, 15 de maleza (5 macetas por cada estadio fenológico) con tres repeticiones que luego se promediaron para obtener un único valor.

Tanto la maleza como el cultivo se hicieron crecer en condiciones controladas (sustentadas sobre suelo de iguales propiedades ópticas, mismo sustrato, macetas del mismo tamaño, misma intensidad y frecuencia de riego), para la obtención de medidas estandarizadas y posibles de ser comparadas. Las macetas de regaban cada una semana de forma manual, hasta llegar a capacidad de campo, para evitar que sufran daños por falta de agua.

Las visitas a los ensayos se efectuaban cada 7 días, cuando se regaba, y se visualizaban estadio fenológico y sanidad de las macetas de trigo y raigrás. Dichas observaciones eran anotadas en una planilla de campo.

Las medidas radiométricas fueron obtenidas mediante espectrómetros pasivos (utilizan la luz solar como fuente de iluminación) los cuales toman datos en intervalos de 1nm, en el rango espectral 380-1000 nm. Para la realización de este trabajo, sólo se tuvieron en cuenta los datos obtenidos en el rango de 400-860 nm de manera de eliminar el ruido existente en los canales de los extremos de estos límites.

Se tomaron 5 medidas (una por maceta) en 3 repeticiones para el raigrás en los estadios de inicio de macollaje, fin de macollaje y estadio reproductivo avanzado

(floración en adelante), repitiéndose el número de medidas y repeticiones para el trigo en los estadios fenológico Z 1.3 y Z 3.0, lo que corresponde a inicio y fin de macollaje respectivamente (Zadockset *al.*, 1974) y a los PCTE y PCTA del cultivo. Se realizó además una tercera medida para trigo en estadio reproductivo avanzado (Z 8.0 en adelante). Las fechas en que se realizaron las mismas fueron las siguientes:

- 26/9/2016: Primera medición (trigo y raigrás en inicio de macollaje). Condiciones climáticas: Horario: 13 hs; nubosidad leve; temperatura: 21 °C; Humedad Relativa: 48 %; Viento ligero (13 km/h)
- 29/10/2016: Segunda medición (trigo y raigrás en fin de macollaje). Condiciones climáticas: horario: 12:30 hs; soleado; temperatura: 21 °C; Humedad Relativa: 52 %; viento moderado (18 km/h)
- 10/11/2016: tercera medición (trigo y raigrás en estadio reproductivo avanzado). Condiciones climáticas: Horario: 12:30 hs; soleado; Temperatura: 23 °C; Humedad relativa: 65 %; Viento moderado (15 km/h)

Las mediciones se realizaron en horas del mediodía donde se encontraba el menor camino óptico, la mayor sensibilidad y el menor impacto de agentes disturbantes atmosféricos en las respuestas espectrales.

Procesamiento e interpretación de las firmas

Los datos espectrales se registraron como valores de reflectancia y luego fueron importados a una hoja de cálculo para su posterior análisis. Se graficaron 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 (Weber *et al.*, 2008).

Así el valor de reflectancia R_λ calculado para cada canal ó λ correspondió 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 espectrómetros utilizados poseían un rango óptimo de intensidades (de 3000 a 5000 cuentas), razón por la cual, los tiempos de integración (t_i) se variaron 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, para cada una de las combinaciones cultivo/maleza realizadas. Previo a la toma de las medidas, se realizó la calibración del sensor, que consistió en la determinación del FOV del sensor (25 °C) y lectura de la corriente oscura, para posteriormente realizar la lectura de las mediciones.

Para graficar los valores de reflectancia del cultivo y la maleza, los valores fueron calculados como el promedio de las tres repeticiones realizadas para cada maceta tanto en trigo como raigrás en sus diferentes estadios fenológicos (inicio de macollaje, fin de macollaje y reproductivo avanzado), para posteriormente realizar una comparación de firmas espectrales de las especies estudiadas, en los distintos estadios mencionados anteriormente.

(Figura 1, aquí)

(Figura 2, aquí)

(Figura 3, aquí)

Debido a que los sensores hiperespectrales proporcionan datos de alta dimensionalidad y, a menudo, altamente correlacionados, generalmente es necesario reducir dicha dimensionalidad para generar estadísticas multivariadas confiables (Koger et al., 2003). En consecuencia, se realizó el análisis de componentes principales (PCA) sobre los espectros registrados del cultivo y la maleza, tal y como lo realizaron previamente Irisarri et. al 2009.

Este análisis consiste en una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensionalidad (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo fue reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Los nuevos componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además independientes entre sí. Un aspecto clave del ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que es deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (Terrádez Gurrea, 2002).

Posteriormente, una vez seleccionados los componentes que representarán las nuevas variables, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos. El test de Tukey (Alpha= 0,05) se utilizó como metodología *post-hoc* para determinar diferencias significativas entre las medias de cada tratamiento.

RESULTADOS

Análisis de componentes principales

Del análisis de la Tabla 1 se puede observar que el primer componente principal explica el 90 % de la varianza de los datos, mientras que sumando el segundo totalizamos el 97,9%. El porcentaje restante lo explican tercer, cuarto y quinto componente. Es por ello que los posteriores análisis se realizaron en base al primer y segundo componente principal.

(Tabla 1, aquí)

En el gráfico 1 (Biplot) se muestra la distribución de los tratamientos en función de las dos primeras variables sintéticas (CP1 y CP2), generadas a partir del análisis de los componentes principales. En consonancia con la Tabla 1, puede observarse como el primer componente es quien explica la mayor proporción de la variabilidad total, separándose sobre el eje X la mayor cantidad de tratamientos. Se eliminaron del análisis algunas observaciones por presentar valores muy por encima o debajo de las medias, las cuales alteraban el resultado.

(Figura 4, aquí)

En la tabla 2 puede observarse que en la interacción cultivo-estadío fenológico, al menos una media de los tratamientos difiere significativamente, esto se refleja en el valor de *p-value* (0,49) el cual se encuentra al límite del rechazo. Mientras que para los factores estadío fenológico y cultivo (sin interacción) las medias de los tratamientos presentan diferencias altamente significativas.

Observando la interacción, se puede afirmar que la respuesta espectral está condicionada por dicha interacción cultivo/estadio fenológico con lo cual dichos factores no son independientes y se procederá con el resto del análisis teniendo en cuenta la solo la interacción.

(Tabla 2, aquí)

Para analizar que medias de los tratamientos difieren significativamente se realizó el test de Tukey sobre la interacción cultivo-maleza/estadio fenológico.

(Tabla 3, aquí)

(Tabla 4, aquí)

De las tablas 3 y 4 se desprende el siguiente análisis, donde puede observarse las diferencias significativas en la reflectancia hiperespectral ($p, 0.05$) entre todas las combinaciones de estadios fenológicos posibles. Los números en cada celda indican la variable sintética (CP1 y CP2) sobre la cual la combinación de estadios fenológicos muestra diferencias significativas. La celda vacía indica la ausencia de diferencias significativas para dicho caso.

Tabla N° 5

	R-IMAC	Tr-IMAC	Tr-FMAC	Tr-AVAN	R-AVAN	R-FMAC
R-IMAC	-;-					
Tr-IMAC	-;II	-				
Tr-FMAC	I;II	I;-	-			
Tr-AVAN	I;II	I;II	-;II	-		
R-AVAN	I;II	I;-	-;-	-;II	-	
R-FMA	I;-	I;II	I;II	I;II	-;II	-

Ref: R: raigrás; Tr: trigo; IMAC: inicio de macollaje; FMAC: fin de macollaje; AVAN: reproductivo avanzado; I:componente principal 1 (CP1); II:componente principal 2 (CP2).

En el grafico 2 se visualizan los factores de los componentes principales (CP1 y CP2). Los coeficientes indican la ponderación relativa de cada variable (longitud de onda) en el componente. Cuanto mayor sea el valor absoluto del coeficiente, mayor es la importancia de la variable correspondiente en la construcción del componente. Para nuestro caso, los intervalos de longitudes de onda de mayor relevancia para la diferenciación de ambas especies (de las componentes principales) corresponden a los rangos comprendidos entre los 725-850nm para el **CP1** y 440-500, 576-691 y 725-750 para el **CP2**.

(Figura 5, aquí)

Con la información obtenida del cuadro de la página 19, y el gráfico 2 de factores (tomando los rangos de longitudes de onda que son más determinantes en cada componente CP1 y CP2) se obtuvieron las siguientes relaciones:

- Raigrás IMAC y trigo IMAC se diferencian significativamente solo sobre el CP2, por lo tanto, para discriminar dichos estadios los rangos 440-500, 576-691 y 725-750 nm son los más adecuados.
- Raigrás IMAC y trigo FMAC se diferencian significativamente en los dos componentes (CP1 y CP2) por lo tanto para discriminar dichos estadios los rangos 440-500, 576-691 y 725-850nm son los más adecuados

- Raigrás IMAC se diferencia en ambos componentes principales (CP1 y CP2) con los estadíos de trigo AVAN y raigrás AVAN, por lo tanto, para discriminar dichos estadíos los rangos 440-500, 576-691 y 725-850nm son los más adecuados.
- Raigrás IMAC se diferencia solo en el primer componente con respecto a raigrás FMAC, resultando el rango 725-850nm el más apropiado para discriminarlos.
- Trigo IMAC se diferencia solo en el CP1 de los estadíos trigo FMAC y raigrás AVAN, resultando el rango 725-850nm el más apropiado para discriminarlos.
- Trigo IMAC se logra diferenciar claramente en los dos Componentes principales con respecto a los estadíos trigo FMAC y raigrás AVAN, por lo tanto para discriminar dichos estadíos los rangos 440-500, 576-691 y 725-850nm son los más adecuados.
- Trigo FMAC se diferencia en el CP 2 (440-500, 576-691 y 725-750 nm) del estadío trigo AVAN, mientras que del estadío raigrás AVAN no es posible diferenciarlos.
- Trigo FMAC se diferencia en los dos CP respecto de raigrás FMAC, por lo tanto para discriminar dichos estadíos los rangos 440-500, 576-691 y 725-850nm son los más adecuados.
- Trigo AVAN se puede diferenciar en ambos componentes principales del estadío raigrás FMAC, por lo tanto, para discriminar dichos estadíos los rangos 440-500, 576-691 y 725-850nm son los más adecuados.
- Raigrás AVAN sólo se diferencia con trigo AVAN y raigrás FMAC en el componente principal 2 (440-500, 576-691 y 725-750 nm).

DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos, consideramos un conjunto de aspectos claves a tratar y poner en discusión. Los mismos los detallamos a continuación:

Las áreas infestadas con malezas tienen una respuesta espectral que es característica de la abundancia y tipo de malezas, y se presentan en una distribución espacial en manchones la cual difiere significativamente de aquellas que no las poseen. En este aspecto, los sensores ópticos pueden ser una importante herramienta en la delimitación de zonas infestadas con malezas (Perona, M. L. et al., 2015). El aspecto destacable de los sensores remotos es que ofrecen un método no invasivo de adquisición sobre la población de malezas, para una determinada superficie de terreno (Thorp, K.; Tian, L. 2004).

Según Thorp y Tian (2004), la separabilidad espectral en estadios fenológicos tempranos presenta dificultades principalmente por 3 razones:

1. En estadios tempranos los cultivos y las malezas poseen características reflectivas similares. Con información hiperespectral se podría llegar a detectar pequeñas variaciones que permitan diferenciarlos.
2. En estadios tempranos las malezas se encuentran en pequeños parches, y se requeriría de una muy alta resolución especial para poder detectar pequeñas variaciones en la reflectancia.
3. El suelo desnudo o con poca cobertura produce una interferencia en la detección maleza/cultivo

Nuestros estudios, donde la resolución especial se ajustó al nivel de hoja (firma pura), demostraron que cuando la maleza y el cultivo se encuentran en inicio de macollaje,

es factible realizar su discriminación con información hiperespectral. Como se mencionaba antes, de los tres puntos que se postulan como dificultades para realizar la discriminación de especies en estadios tempranos, dos de ellos fueron subsanados, ya que para evaluar la separabilidad espectral se utilizó por un lado información hiperespectral, lo que permitió detectar variaciones del orden del nanómetro entre firmas y la utilización de la firma pura, sin interferencia de suelo u otros componentes que puedan afectar la respuesta espectral del cultivo/maleza. Únicamente la combinación de estadios donde el trigo se encuentra en fin de macollaje y la maleza en un estadio reproductivo avanzado, la discriminación no fue posible. Esto probablemente se deba a que ambas especies presentan el mismo síndrome fotosintético C3 con lo cual, en los estadios mencionados las diferencias en cuanto a estructura de hoja y pigmentos, no fueron suficientes para que puedan discriminarse.

En lo que respecta a las restantes combinaciones cultivo/maleza la información hiperespectral permitió realizar una efectiva separación del cultivo y la maleza en un amplio rango del espectro.

López-granados (2011), concluyó que el sensor remoto basado en imágenes aéreas multiespectrales puede generar mapas de malezas precisos, especialmente en estadios fenológicos avanzados de la maleza. En nuestro caso, se pudo observar que mientras mayor la diferencia entre estadios fenológico del cultivo y la maleza, más fácil su discriminación. En estos casos, enfocándonos solo en la región del infrarrojo cercano o mirando el visible, se pueden discriminar correctamente. Para estos casos, las diferencias en las firmas espectrales de ambas especies se deben a diferencias en la estructura de la hoja, constituyentes

celulares (no pigmentos) tales como fenoles ácidos nucleicos y proteínas (Weber, C. 2014).

En base a las herramientas utilizadas para la evaluación de resultados, el análisis mediante Componentes Principales resultó una herramienta precisa a la hora de reducir dimensionalidad de datos. Con la utilización de dos Componentes pudimos explicar el 97% de los datos de las mediciones. Esto ya lo mencionaba (Eddy et., al 2014) en su trabajo quien, utilizando el análisis de componentes principales, llegó a explicar entre el 89-94% de la variabilidad de los datos con el CP1, explicándose dicha variabilidad en la región del infrarrojo cercano (720-930 nm).

Dicho autor también encontró que el segundo componente explica entre el 3-5 % de los datos, número que se aproxima al obtenido en nuestro trabajo, el cual rondó el 7%. Las regiones del espectro que explicaban esta variabilidad Eddy las identifica en el verde (520-570 nm) y el red Edge (680-730 nm), regiones que concuerdan con nuestro trabajo.

A su vez, Lewis (2002) y Thenkabail et al., (2004), identificaron bandas importantes para la caracterización espectral de diversas especies. Dichas bandas, en el caso del estudio de Lewis se centran en las siguientes longitudes de onda: 420, 460, 545, 550, 555, 580, 704, 710, 760, 780, 800, 850, y 900 nm. Thenkabail encontró las siguientes bandas centradas en las longitudes de onda de 495, 525, 550, 568, 668, 682, 696, 720, 845, 920, 982, y 1025 nm. Las mismas, en la mayoría de los casos, se corresponden o están incluidas dentro de los rangos detectados en este trabajo.

Haciendo referencia a nuestro estudio, la similitud que presentan en cuanto a estructura de hoja cuando el cultivo y la maleza se encuentran en el mismo estadio fenológico y a que ambas especies presentan el mismo síndrome fotosintético C3, el CP2 cuyos rangos óptimos se ubican en la zona del visible (Verde y Rojo) y la zona del Red Edge, podrían servir de sustento en aquellos casos donde el IR solo no es capaz de diferenciar entre

especies. Esto se debe a que la región del visible nos permite diferenciarlas por diferencias en su color o en sus pigmentos.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

✓ Hipótesis 1 y 2: ACEPTADA. Los ensayos realizados permitieron obtener una base de firmas espectrales de raigrás anual (maleza con resistencia probada a glifosato) y compararlos con los obtenidos en el cultivo de trigo, pudiéndose identificar regiones del espectro óptimas para la discriminación entre el cultivo y la maleza en diferentes estadios fenológicos, inclusive en estadios tempranos como inicio de macollaje.

Hipótesis 3: ACEPTADA. La respuesta espectral tanto del cultivo como la maleza varía en función del estadio fenológico estudiado y a su vez se encontró que la interacción entre estadio fenológico y cultivo es significativa. Se confirma que el estudio de las firmas espectrales de raigrás anual y trigo nos permiten diferenciar dichas especies en las regiones del rojo e infrarrojo cercano siendo los estadios más contundentes para la diferenciación de dichas especies raigrás fin de macollaje y trigo avanzado, como lo demuestra la figura 4.

El estudio de las firmas espectrales representa una posibilidad de manipular la información espectral para realizar la detección de las malezas con el cultivo implantado, y constituir nuevas herramientas para la aplicación sitio-específica de herbicidas.

BIBLIOGRAFÍA ELABORADA O PRODUCIDA. MATERIAL DIDÁCTICO ELABORADO Revisar todas las citas y ponerlas según el formato del TFC. Cita completa, todos los autores, en algunos el año está entre paréntesis en otros no

← **Con formato:** Normal, Justificado,
Espacio Antes: 12 pto,
Interlineado: Doble

Andrade, F. (1995). "Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina". *Field Crops Res.* 41: 1-12.

Andújar, D.; et al., (2011). "Reliability of a Visual Recognition System for Detection of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) in Corn". *WeedTechnology* 25 (4): 645-651.

BCBA (Bolsa de cereales de Buenos Aires).www.bolsadecereales.com.

Castro, A.; et al.,(2008). "GROUP G/9 RESISTANT PERENNIAL RAIGRAS (*Lolium perenne*) EPSP synthase inhibitors (G/9)". International survey of herbicide resistant weeds. En línea <http://www.weedscience.org/Details/Case.aspx?ResistID=5487>.

Christensen, S.; et al.,(2009). "Site-specific weed control technologies". *Weed Res.*, v. 49, n. 3, 233-241.

Cid, E. (2011). "Mapeo de malezas para aplicaciones sitio específicos" Resúmenes de trabajos presentados: 10ª curso Internacional de Agricultura de Precisión, 71-76 pp.

De Prado, J. L.; et al.,(2009). "Mecanismos de resistencia de las malezas a los herbicidas". Seminario Internacional "Manejo y diagnóstico de la resistencia a herbicidas". 3-4 noviembre 2009. Centro Regional de Investigación INIA, Carillanca. Temuco, Chile.

Delucchi, J.; et al., (2005). "GROUP G/9 RESISTANT JOHNSONGRASS (*Sorghum halepense*)". International survey of herbicide resistant weeds. En línea. <http://www.weedscience.org/Details/Case.aspx?ResistID=5271>.

Diez De Ulzurrun, P.; Leaden, M. (2010). "MULTIPLE RESISTANT ITALIAN RAIGRAS (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) Multiple Resistance: 2 Sites of Action ALS inhibitors (B/2) EPSP synthase inhibitors (G/9)". International survey of herbicide resistant weeds. En línea: <http://www.weedscience.org/Details/Case.aspx?ResistID=5599>.

Diez De Ulzurrun, P.; et al.,(2007). "GROUP G/9 RESISTANT ITALIAN RAIGRAS (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) EPSP synthase inhibitors (G/9)". International survey of herbicide resistant weeds. En línea <http://www.weedscience.org/Details/Case.aspx?ResistID=5352>.

Eddy, P.R.; et al., (2014). "Weed and crop discrimination using hyper spectral image data and reduced band sets".

Fernández, O. A.; et al.,(2014) a. Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. Editorial UNS. ISBN 978-987-1907-70-0.

Fernández, O. N.; et al.,(2014) b. "Manejo Integrado de Malezas (MIM)". En: Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. Editorial UNS. Capítulo XXX. ISBN 978-987-1907-70-0.

Guglielmini, A. C.; et al., (2004). "Bases para el control y manejo de malezas". En: Satorre, E.M.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. (eds.) Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 581-611 pp.

Hadair, L. (2012). "Malezas de difícil control, su impacto en las empresas agrícolas". XX Congreso de AAPRESID. En línea.

http://www.aapresid.org.ar/rem/wpcontent/uploads/sites/3/2013/02/impacto_en_las_empresas-haidar.pdf. Último ingreso 10/5/2016

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Electromagnetic_spectrum-es.svg

Istilart, C.; Yanniccari, M. (2011). "Análisis de la evolución de malezas en cereales de invierno durante 27 años en la zona sur de la pampa húmeda argentina". Revista técnica especial: malezas problema. (Aapresid). ISSN 1860-0633. 47-50 pp.

Kruk, B.; Satorre, E.H. (2004). "Densidad y arreglo espacial del cultivo". En: Satorre, E.M.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. (eds.) Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 279-312 pp.

Leguizamón, E. S. (2007). "El manejo de malezas: desafíos y oportunidades". Revista Agromensajes. 23 (12): 26-29. En línea. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/23/10AM23.htm> Último ingreso 11/06/2016.

Leguizamón, E. S. (2014). "La agricultura y las malezas: Pasado, presente y perspectivas". En: Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. Editorial UNS. Capítulo I. ISBN 978-987-1907-70-0. 25-41 pp.

Leguizamón y Puricelli. (2004). "Manejo de malezas en trigo". Cátedra de malezas. Departamento de Sistema de Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. C.C. 14 (2123). Zavalla. Sta Fe.

López-granados, F. (2011). "Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches". Weed Research 51, 1–11.

Manalil, S. (2014). "Evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum* under low herbicide rates: an Australian experience". *Crop Science* 54, 461-474.

Metzler, M. J.; Papa, J. C.; Peltzer, H. F. (2011a). "Eficacia del control de *Conyza* spp. con herbicidas residuales en postemergencia del cultivo de soja". Acta del Quinto Congreso de la Soja del Mercosur. Primer Foro de la Soja Asia-Marcosur. 140-142.

Metzler, M.; et al.,(2013). "Manejo y control de rama negra" En línea: <http://www.aapresid.org.ar/rem/wpcontent/uploads/sites/3/2013/10/Metzler.-Manejo-y-control-de-Rama-negra.pdf>. Último ingreso 15/ 6/2016.

Metzler, M. J.; et al.,(2011b). "Control de *Conyza* spp. (rama negra) en barbecho de soja con glifosato en mezcla con herbicidas residuales y de contacto". Acta del Quinto Congreso de la Soja del Mercosur. Primer Foro de la Soja Asia-Marcosur. 138-140.

Pantazi, X.-E. et al.,(2016). "Active learning system for weed species recognition based on hyperspectral sensing". *Biosystems Engineering* 146, 193.

Papa, J. C.; TUESCA, D. (2014). "Los problemas actuales de malezas en la región sojera núcleo argentina: origen y alternativas de manejo". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Santa Fe. Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros. En línea. <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-problemas-actuales-malezas-en-regin-sojera-ncleo.pdf>. Último ingreso 10/5/2016

Perona, M. L. et al.,(2015). "Discriminación óptica de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] y una de sus principales malezas, como herramienta de decisión en el control sitio específico de herbicida". *Investigación Joven* ISSN: 2314-3991. Vol 2: 2 pp 46 - 50.

Puricelli, E. et al.,(2015).“Conyzasumatrensis y Conyzabonariensis (Rama negra)”. Denuncia de casos de resistencia. Red de conocimientos en malezas resistentes. En línea: <http://www.aapresid.org.ar/rem/conyza-sumatrensis-y-conyza-bonariensis-rama-negra/>. Ultimo ingreso 5/ 5/2016

Puricelli, E.; Tuesca, D. (2005). “Riqueza y diversidad de malezas en trigo y barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato”. *Agriscientia*, 22, 69-78.

REM (red de conocimiento en malezas resistentes). (2015). Mapa de Malezas. <http://www.aapresid.org.ar/rem/mapa-de-malezas/>. Ultimo ingreso 12/4/2016.

Renton, M. et al.,(2014). “Herbicide resistance modelling: past, present and future”. *Wileyonlinelibrary.com* DOI 10.1002/ps.3773.

Satorre E. H. (1999). “Plant density and distribution as modifiers of growth and yield”. En: E. H. Satorre, and G. A. Slafer (eds.). *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination*. The Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford. 141-159.

Terrádez G. (2002). “Análisis de componentes principales” https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf

Thorp, K.; Tian, L. (2004). “A review on remote sensing of weeds in agriculture”. *PrecisionAgric.* 5 (5), 477-508.

Tuesca, D. (2011). “Resistencia de malezas a herbicidas”. 221-227 pp. CASAFE. En línea. <http://www.casafe.org.ar/pdf/Resistencia.pdf>. Acceso 28/06/2016. Ultimo ingreso el 10/5/2016.

Ustarroz, D. (2015). "MULTIPLE RESISTANT JOHNSONGRASS (Sorghum halepense) Multiple Resistance: 2 Sites of Action ACCase inhibitors (A/1)EPSP synthase inhibitors (G/9)". International survey of herbicide resistant weeds. En línea. <http://www.weedscience.org/Details/Case.aspx?ResistID=10991>.

Weber, C. (2014). "Sensores remotos y aplicación sitio-específica de herbicidas". En Malezas e Invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y Manejo. Editorial UNS. Capítulo XXX. ISBN 978-987-1907-70-0. Pp. 889 - 907.

Weber, C. et al.,(2008). "Passive field reflectance measurements" J. Pure Appl. Optics, 10, 20- 28.

Weber, C. et al., (2010). Patente: Sensor óptico basado en LEDS, TÍTULO: Método y aparato para detectar malezas y procedimiento y aparato para caracterizar un diodo emisor de luz como dispositivo detector de radiación óptica. Boletín IPNI N°608 ACTA : P 080104533. TITULARES: UNLP/CIC/CONICET.

Yanniccari et al., (2009). "Evaluación de la resistencia a glifosato de una población de Lolium perenne L. del sur de la provincia de Buenos Aires". XII Congreso SEMh. XIX Congreso ALAM. II Congreso Iberoamericano de Cs. de las Malezas. Lisboa. 2:521-524.

Zadoks et al., (1974). "A decimal code for the growth stages of cereals". Weed Research Vol.14. pp 415-421.

Zimdahl, R.L. (2007). "Weed–Crop Competition". A-review. (2th Ed), Blackwell Publishing (Ed). Iowa (Estados Unidos) 220pp.

APÉNDICES (tablas, figuras, etc.)

Tabla 1. Análisis de componentes principales. Valores propios, proporción y acumulada de la matriz de

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Valor propio	2,9526	0,242	0,0565	0,0089	0,0009
Proporción	0,905	0,074	0,017	0,003	0
Acumulada	0,905	0,979	0,996	0,999	0,999

covarianza para el estudio del espectroentregro y raigrás.

Ref: CP (componentes principales 1,2,3,4,5)

Tabla 2. Analisis de la varianza para el estudio de la respuesta espectral del cultivo de trigo y la maleza raigrás en diferentes estadios fenológicos, en funcion de las dos variables sinteticas (CP1 y CP2) generadas a través del analisis multivariado de componentes principales (CP).

Effect	Test	Valus	F	Effectdf	Error df	P
Intercept	Wilks	0,002245	3556,006	2	16	0,000000
CULTIVO	Wilks	0,183721	35,544	2	16	0,000001
EST.FEN	Wilks	0,016862	53,608	4	32	0,000000
CULTIVO*ETS.FEN	Wilks	0,404773	4,574	4	32	0,004915

Tabla 3. Test de Tukey sobre la interacción cultivo*estadio fenológico para la variable sintética CP1.

Cell No.	CULTIVO	EST.FEN	CP1 Mean	1	2	3
4	RAIGRÁS	IMAC	8,72280		****	
1	TRIGO	IMAC	9,49220		****	
2	TRIGO	FMAC	11,13013	****		
3	TRIGO	AVAN	11,47155	****		
6	RAIGRÁS	AVAN	12,48547	****		****
5	RAIGRÁS	FMAC	13,42513			****

Tabla 4. Test de Tukey sobre la interaccion cultivo*estadio fenológico para la variable sintética CP2.

Cell No.	CULTIVO	EST.FEN	CP2 Mean	1	2	3	4
5	RYEGRASS	FMAC	0,564650		****		
4	RYEGRASS	IMAC	0,696900		****	****	
2	TRIGO	FMAC	1,033975	****		****	
1	TRIGO	IMAC	1,115250	****			
6	RYEGRASS	AVAN	1,301600	****			
3	TRIGO	AVAN	1,988675				****

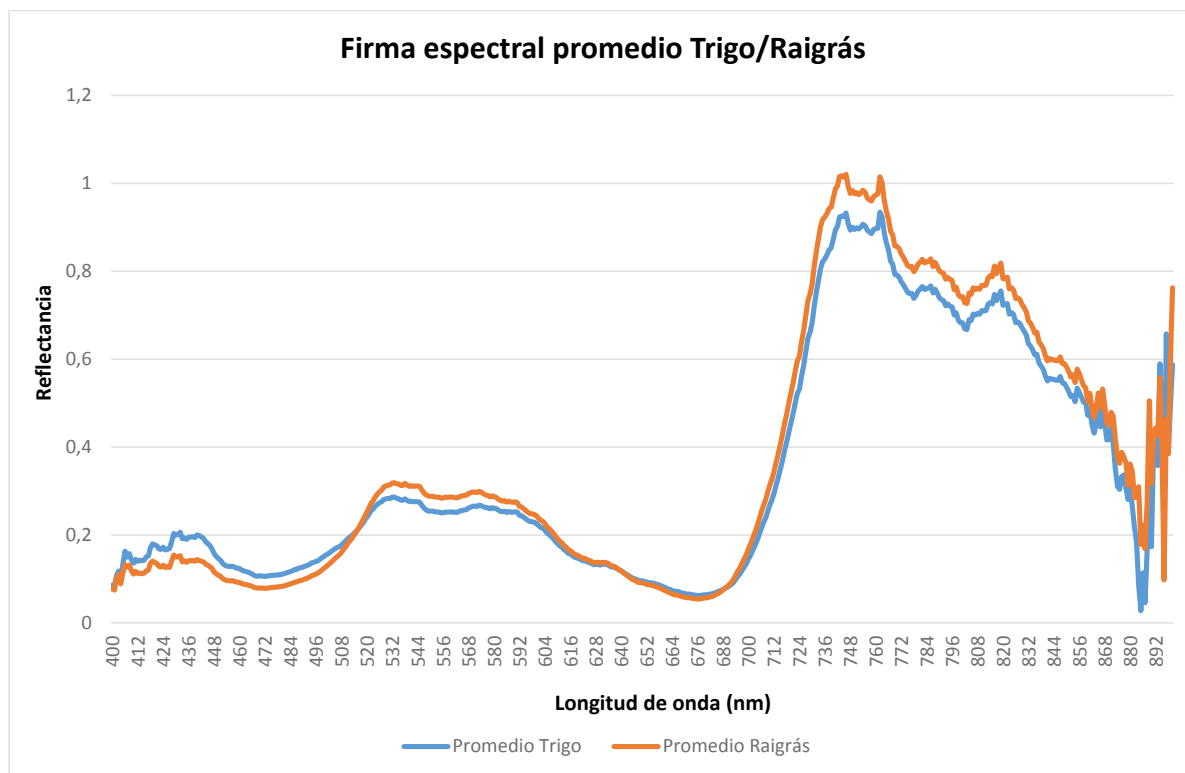


Figura 1. Respuesta espectral (firma) promedio del trigo/raigrás para el estadio fenológico inicio de macollaje en el rango de 400-860 nm.

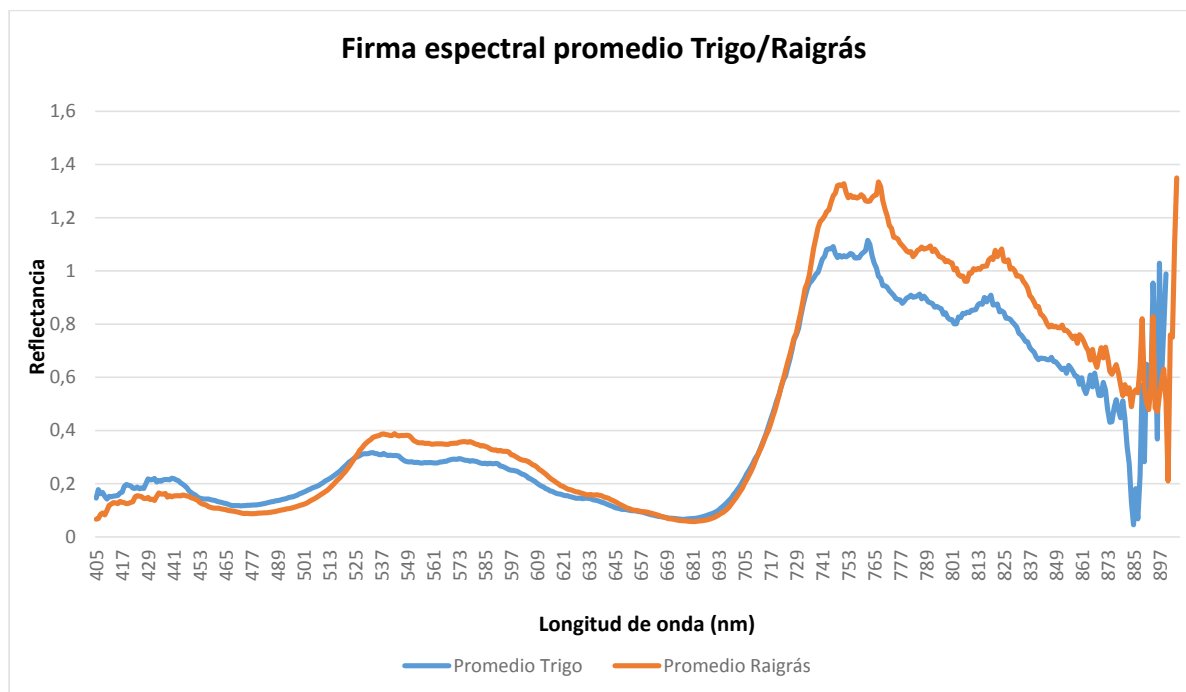


Figura 2. Respuesta espectral (firma) promedio del trigo/raigrás para el estadio fenológico fin de macollaje en el rango de 400-860 nm.

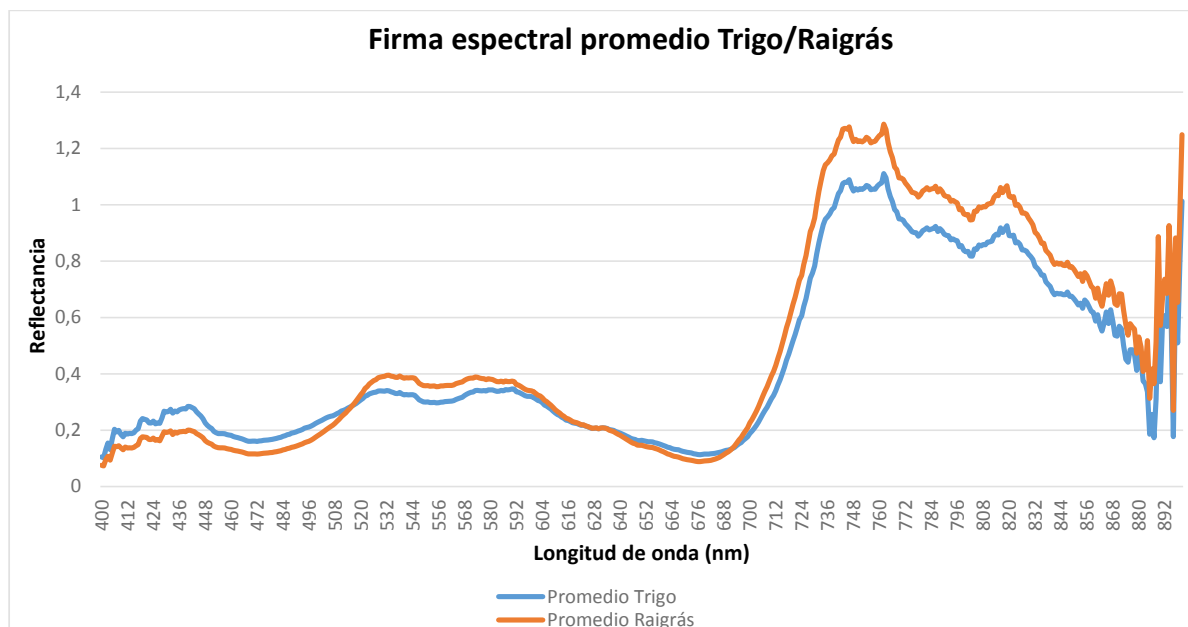


Figura 3. Respuesta espectral (firma) promedio del trigo/raigrás para el estadio fenológico reproductivo avanzado en el rango de 400-860 nm.

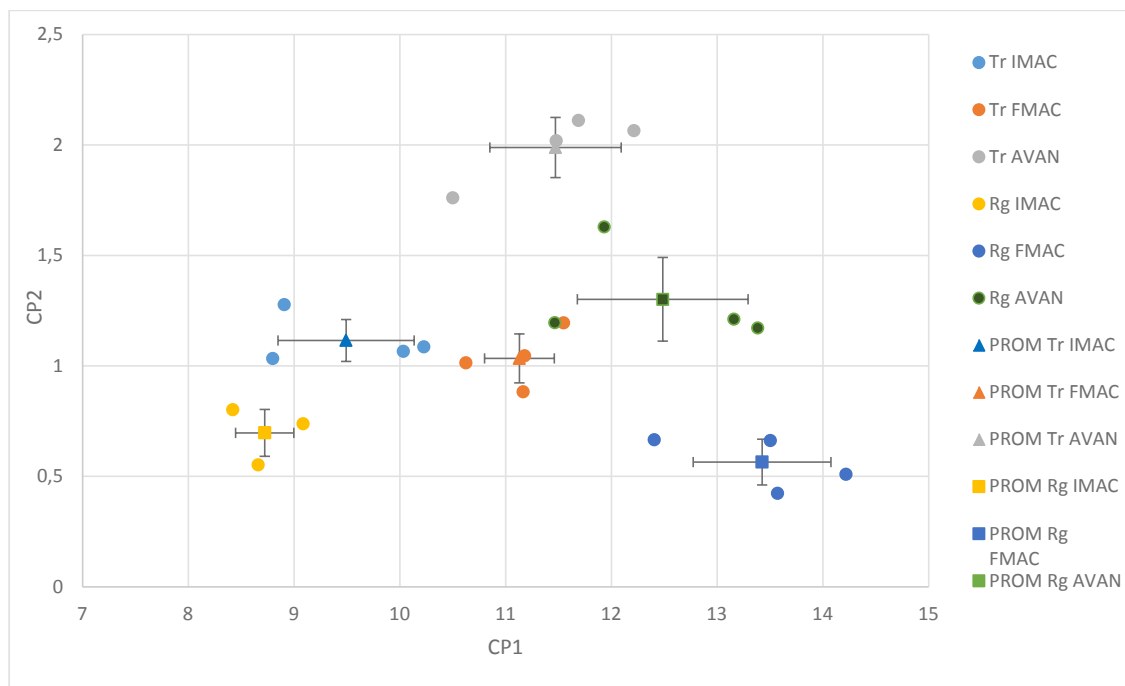


Figura 4. Posición del cultivo (trigo) y la maleza (reagrás) en dos dimensiones espectrales sintéticas en el rango hiperespectral de 400-860 nm a través del análisis multivariado de componentes principales (CP). Las barras de error representan el desvío estándar.

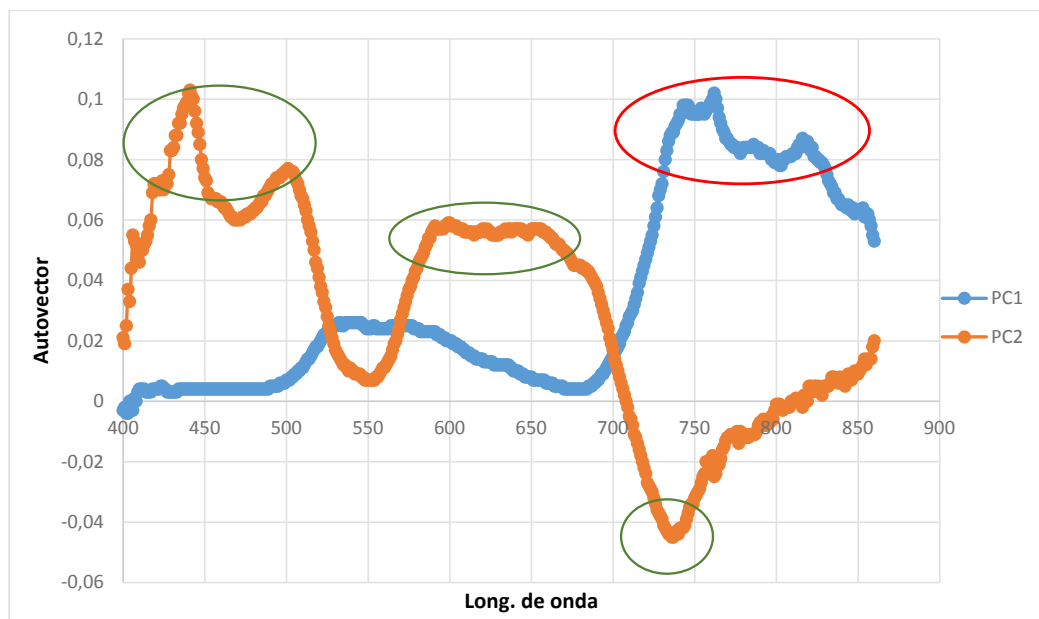


Figura 5. Valor de autovectores (cargas) en función de la longitud de onda. La carga de los CP indica la importancia relativa de cada longitud de onda en cada componente (CP1 y CP2). El círculo rojo encierra la zona de mayor importancia relativa en el CP1 (725-850 nm), mientras que los círculos verdes las zonas de mayor importancia relativa en el CP2 (440-500, 576-691, 725-750 nm).

- Comentario [B1]:** Los dos dice círculo rojo
- Comentario [If2]:**
- Comentario [If3]:**
- Comentario [If4]:**
- Comentario [If5]:**

Figura 6. Imagen Espectro visible

