



# Influencia de diferentes manejos ecológicos y de las rotaciones en el suelo, así como su repercusión en el control de malas hierbas y en el rendimiento del cultivo

M.I. González-Barragán<sup>1</sup>, R. Rodrigo<sup>1</sup>, I. Guerrero<sup>1</sup>, J.F. Rodrigo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Esc. Univ. Ingeniería Agrícola INEA. Universidad Pontificia Comillas; isabel.gonzalez@inea.edu.es

<sup>2</sup> Colaboración independiente; juanfernandorodrigo@gmail.com

**Resumen:** La producción ecológica en extensivo está limitada por el difícil control de las malas hierbas y por unos menores rendimientos derivados principalmente de la no fertilización nitrogenada química. Por ello la investigación y experimentación en este campo debe de ser en este sentido conseguir un manejo en ecológico eficiente en la lucha con las arvenses y competitivo en el aporte de nutrientes naturales al cultivo. Los biofertilizantes son productos que tratan de favorecer a los microorganismos benéficos del suelo, en especial bacterias y/o hongos, que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan de manera natural a su nutrición y crecimiento, además de ser mejoradores de suelo. Para realizar este ensayo se diseñó un split-plot que fue implantado en la campaña 2017-2018 en una finca ecológica de Valladolid. Está formado por tres repeticiones, siendo el factor principal el tipo de manejo (5 tipos de bioestimulantes más testigo) y el subfactor la rotación de cultivos (4 rotaciones). El objetivo es valorar la influencia de los diferentes bioestimulantes y las distintas rotaciones en la evolución del suelo, en el control/aparición de vegetación adventicia y en la respuesta del cultivo. El ensayo está compuesto por setenta y dos parcelas elementales de 8,4 m (ancho) por 15m (largo) sobre las que se rotarán diferentes cultivos de secano (Trigo, Guisante, Avena, Lenteja, Garbanzo, Espelta, Veza, Cebada, Kamut, Centeno) y se aplicarán 5 bioestimulantes diferentes (dos de ellos con potasio, otro con hierro, un potenciador de la micorrización y un estimulador del enraizamiento, además del manejo testigo sin fertilización). Los muestreos se realizan en campo, en laboratorio y a través de teledetección con imágenes espectrales. Por ser primer año de ensayo no puede hablarse de resultados sino de observaciones para comenzar este estudio. Se han analizado datos referentes al suelo, cultivo y a la vegetación arvense, obteniéndose los siguientes resultados: -En cuanto a la evolución del suelo y al rendimiento del cultivo no se ha observado influencia del tratamiento sobre las parcelas testigo. Es lógico que sea así puesto que es el primer año del ensayo. -La vegetación arvense, por el contrario, sí mostró diferencias respecto al manejo y, por supuesto, al cultivo.

**Palabras clave:** Garbanzo, Trigo, Malas hierbas, Teledetección, Bioestimulantes.

## 1. Introducción

Cultivar en extensivo y en ecológico es muy complicado. Hay muchas variables que no se conocen. Por ello hay muy pocos agricultores que se aventuren a producir en ecológico y cuando lo hacen se encuentran con el problema de las malas hierbas. Con el proyecto se pretende obtener

conocimiento para que, combinando la rotación perfecta con la fertilización adecuada, conseguir buenas producciones.

Es momento de introducir cultivos nuevos (Espelta y Kamut) y evaluar su posibilidad real de cultivo en nuestras condiciones edafoclimáticas. Si sus resultados fueran positivos, el impacto en la agricultura sería muy importante, puesto que permitiría la diversificación de cultivos por un lado y por otro el poder trabajar con especies muy rústicas (característica requeridas por nuestro clima y por la agricultura ecológica).

Las técnicas de teledetección pueden aportar información de toda una superficie de cultivo. Relacionar las medidas de campo puntuales con las imágenes permite dar una mayor robustez a los resultados y conclusiones obtenidas durante la investigación. Pero para ello es necesario poner a punto una metodología para la utilización de imágenes de satélite en el seguimiento de los cultivos y la vegetación arvense.

La bioquímica foliar (en particular el contenido de clorofila) es clave en la productividad de la planta y desempeña un papel crucial en la fotosíntesis y en el funcionamiento de la planta [1]. Los datos de teledetección pueden proporcionar información específica del contenido en clorofila como aproximación al de nitrógeno (N) del cultivo para ayudar a los agricultores con información útil y precisa de sus cultivos [2,3]. Un ejemplo de aplicación, fue la utilización de imágenes de Sentinel-2 para predecir el rendimiento de patatas [4] en diferentes campos regados con pivot. En otra [5], integraron los datos de Sentinel-2 en un sistema continuo desarrollado para clasificar los tipos de cultivos y evaluar la producción agrícola.

Objetivos:

-Valorar la influencia de diferentes biofertilizantes y rotaciones en la evolución del suelo en agricultura ecológica así como en el control/aparición de vegetación adventicia y en la respuesta del cultivo.

-Puesta a punto de la metodología para la utilización de imágenes de satélite en el seguimiento de los cultivos y la vegetación arvense a nivel experimental.

## **2. Materiales y métodos**

### *2.1. Localización y condiciones de clima y suelo*

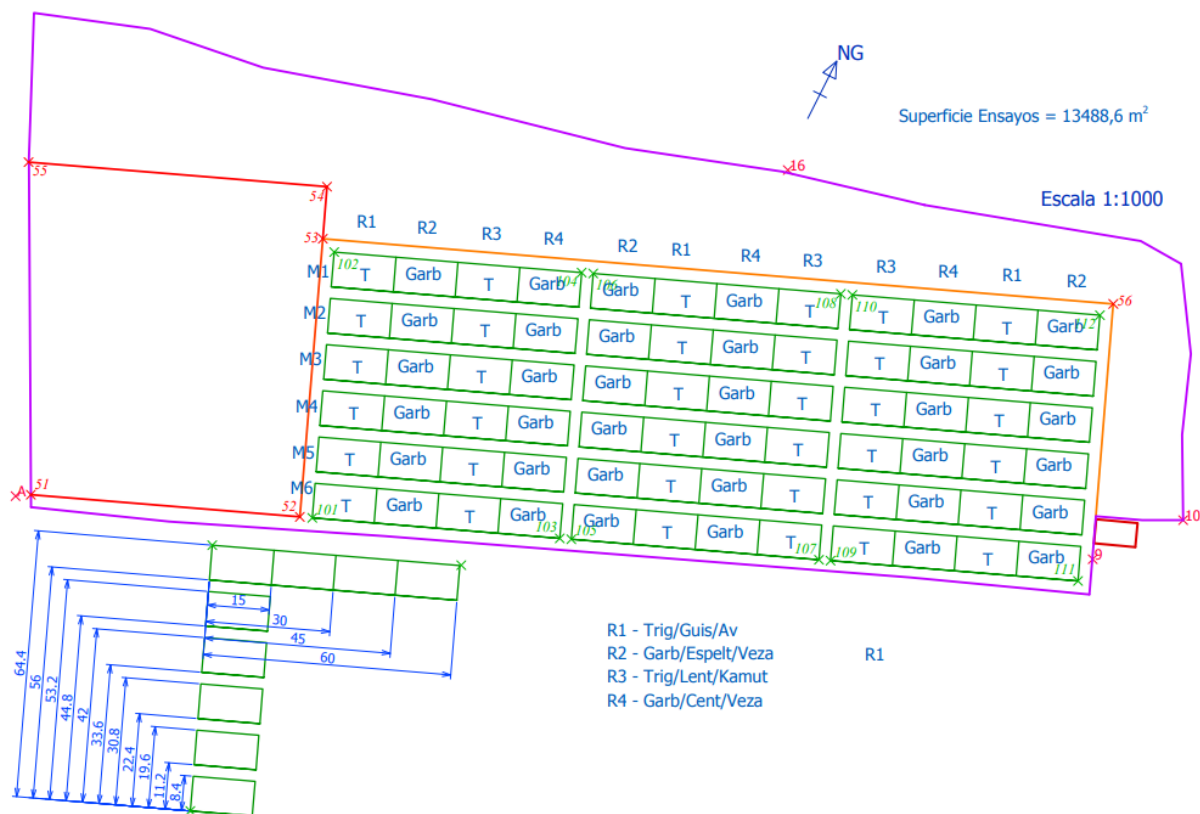
El ensayo se localiza en la finca ecológica INEA, a las afueras del término municipal de Valladolid, en la zona sur de la ciudad, a orillas del río Pisuerga.

Se trata de un clima mediterráneo, con pluviometría moderada-baja (400-500mm/año) con veranos secos, inviernos fríos y con una oscilación térmica acusada.

### *2.2. Diseño experimental*

El diseño experimental es un split-plot. Formado por tres repeticiones, siendo el factor principal el fertilizante (5 más testigo) y el subfactor la rotación de cultivos (4 rotaciones).

El ensayo está compuesto por 72 parcelas elementales de 8,4 m (ancho) por 15 m (largo) sobre las que se rotarán diferentes cultivos y se aplicarán los diferentes manejos (fertilizantes bioestimulantes), divididas en 3 bloques (I, II y III), siendo cada uno de los cuales una repetición, tal y como se puede observar en la figura siguiente.



**Figura 1.** Esquema de las diferentes parcelas elementales del ensayo: Bioestimulantes: M1: abono inorg. potásico, M2: bioest. con K, M3: testigo, M4: potenciador de la micorrización, M5: estimulador del enraizamiento y M6: bioest. con Fe. Rotaciones: R1: Trigo/Guisante/Avena/Lenteja, R2: Garbanzo/Espelta/Veza/Cebada, R3: Trigo/Lenteja/Kamut/Guisante, R4: Garbanzo/Centeno/Veza/Kamut

Con el ensayo se trata de evaluar la influencia de diferentes tipos de bioestimulantes y distintas rotaciones en el control/aparición de vegetación adventicia y en la respuesta del cultivo. Se ha diseñado con cultivos de secano para que su validez sea más amplia en la región.

### 2.3. Toma de datos

Para evaluar la evolución de los suelos se analiza en laboratorio una muestra de suelo de cada una de las microparcelas a 30 cm de profundidad en el momento inmediato a la cosecha.

La densidad de malas hierbas se ha medido con un marco de 1 metro cuadrado lanzándolo de forma aleatoria dos veces en cada microparcelas y haciendo recuento del número de plantas de malas hierbas contenidas en él. Este conteo se ha realizado en los estados fenológicos de encañado, espigado y previo a la cosecha.

En cuanto al rendimiento del cultivo, se analizó en el momento de la cosecha tomando datos del peso por unidad de superficie, peso específico y humedad del grano.

### 2.4. Teledetección:

La misión Sentinel-2 es una misión de observación de la Tierra del programa europeo Copernicus y la Agencia Espacial Europea (ESA), en la que diferentes satélites de la misión (Sentinel-2A (2015) y Sentinel-2B (2017)) toman imágenes de la superficie de la Tierra en diferentes bandas espectrales y con una resolución temporal que se ha reducido al orden de, aproximadamente, 5 días, dependiendo de la latitud. Sentinel-2A lleva un instrumento multispectral (MSI) y las imágenes proporcionadas por Sentinel-2A están disponibles

públicamente de forma gratuita. Tienen 13 bandas espectrales con una resolución espacial de 10m (dependiendo de la banda). Dichas resoluciones espaciales y temporales, y la disponibilidad de imágenes gratuitas, hacen que Sentinel 2 sea muy atractivo para el monitoreo de cultivos en el marco de la agricultura de precisión basada en mapas.

### 3. Resultados y discusión

Por ser el primer año de ensayo, tanto cultivo como suelo y banco de semillas conservan la inercia de los manejos anteriores. Se han recogido datos y se ha tratado estadísticamente para poder proporcionar los siguientes resultados.

Obviamente estos resultados no son válidos para poder obtener conclusiones ya que, se trata del primer año de ensayo y son necesarias más campañas para poder obtener conclusiones significativas.

Respecto a la evolución del suelo, como era predecible, en un solo años de aplicación de biofertilizantes no se han observado diferencias entre los diferentes tratamientos. Esta característica se irá midiendo a lo largo de las diferentes campañas y contrastando con esta primera.

#### 3.1. Rendimiento del cultivo

Se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos en la cosecha sobre: peso en campo, peso específico y humedad del grano. Se hicieron análisis de varianza Anova y separación de medias aplicando el test de Duncan utilizando niveles de significación de 0,05.

Se observó que el tipo de bioestimulante no influyó en los parámetros medidos en la cosecha del garbanzo, sin embargo, sí que lo hizo en el peso específico del trigo. En este caso los manejos M1, M2 y M6, no difirieron del testigo (M3) pero tuvieron un peso específico significativamente mayor que los bioestimulantes M4 y M5.

**Tabla 1.** Características en cosecha. Separación de medias para los cultivos ensayados.

	Peso	Humedad	Peso específico		Peso	Humedad	Peso específico
<i>Garbanzo</i>				<i>Trigo</i>			
M1	A	A	A	M1	A	A	A
M2	A	A	A	M2	A	A	A
M3	A	A	A	M3	A	A	AB
M4	A	A	A	M4	A	A	B
M5	A	A	A	M5	A	A	B
M6	A	A	A	M6	A	A	A

Las Distintas letras dentro de una misma variable son significativamente diferentes para  $\alpha=0,05$  (Duncan).

No obstante, no hay que olvidar que estos resultados pertenecen a un primer año de ensayo, que hay que contrastar con resultados de campañas posteriores.

#### 3.2. Arvenses

Se analiza estadísticamente mediante ANOVA de dos factores, la diferencia de densidad aparente de plantas silvestres en las parcelas considerando, tanto que han sido sometidas a distintos tratamientos de fertilización, como los dos cultivos que se han sembrado. Para este análisis, se han asignado 5 niveles de densidad creciente de plantas silvestres por conteo directo en las parcelas.

El conteo de malas hierbas se ha realizado en los estados fenológicos de encañado, espigado y previo a la cosecha obteniéndose en los tres casos idéntica separación de medias.

Al considerar ambos factores, se observan diferencias significativas entre las parcelas, tanto en función del cultivo, como del tratamiento de fertilización. La significación en el caso del factor cultivo es un resultado esperable, teniendo en cuenta las diferentes capacidades de competencia de ambos cultivos, que crean condiciones diferentes para la proliferación de malas hierbas, siendo estas más abundantes en el cultivo del garbanzo.

En el caso de los tratamientos de fertilización, la significación parece deberse principalmente al aumento en densidad de arvenses en las parcelas con tratamiento 4 en los dos cultivos. La interacción entre ambos factores arrojó un resultado no significativo.

**Tabla 2.** Densidad de malas hierbas. Separación de medias según rotación y fertilización utilizada.

Densidad malas hierbas		Densidad malas hierbas	
<i>Rotación</i>		<i>Bioestimulantes</i>	
R1	B	M1	B
R2	A	M2	B
R3	B	M3	B
R4	A	M4	A
		M5	B
		M6	B

Las Distintas letras dentro de una misma variable son significativamente diferentes para  $\alpha=0,05$  (Duncan).



**Figura 2.** Malas hierbas en ensayos de trigo y garbanzo

### 3.3. Desarrollo de la metodología para seguimiento vegetativo de las parcelas de ensayo:

Sin duda, el resultado más importante de este primer año de ensayo, ha sido la puesta a punto de la metodología para la utilización de imágenes de satélite en el seguimiento de los cultivos y la vegetación arvense.

En este primer año de proyecto se está estableciendo la metodología de trabajo que implemente al tratamiento estadístico de los datos estudiados (análisis de suelos y foliares), las imágenes de satélite de Sentinel 2A, de las que se extrae información de vigor, y correlacionar los índices de vigor con el rendimiento real para propósitos de predicción.

Tener mapas de vigor con cierta frecuencia le daría al agricultor o asesor la oportunidad de seguir el desarrollo del cultivo, tomar decisiones de manejo (es decir, riego, fertilización y protección del cultivo), tener una retroalimentación de las operaciones realizadas y predecir los rendimientos. Eso será abordado en trabajos futuros.

#### Adquisición y procesamiento de datos multiespectrales.

Para este trabajo preliminar, solo se usaron 4 bandas de 10 m de resolución: azul (490 nm), verde (560 nm), rojo (665 nm) y NIR (842 nm). A partir de las bandas de reflectancia BOA (parte inferior de la atmósfera) visibles e infrarrojas, se calcula el índice de vegetación NDVI que da cuenta del vigor de un cultivo:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Se descargaron todas las imágenes de Sentinel 2 desde la siembra hasta la cosecha del área de estudio. Tras realizar un visionado y discriminar aquellas que estaban afectadas de nubosidad, y por lo tanto invalidadas para realizar un óptimo seguimiento de los ensayos, quedando así un total de 24 días con imágenes válidas, entre el 1 de octubre de 2017 hasta el 1 de octubre de 2018.

En la siguiente imagen se muestra toda la información de la que disponemos una vez calculado el índice NDVI para cada día válido, libre de nubes, de nuestra zona de estudio. Con una paleta de colores podemos elegir la combinación de colores con la que realizar un mejor visionado de la evolución del NDVI.

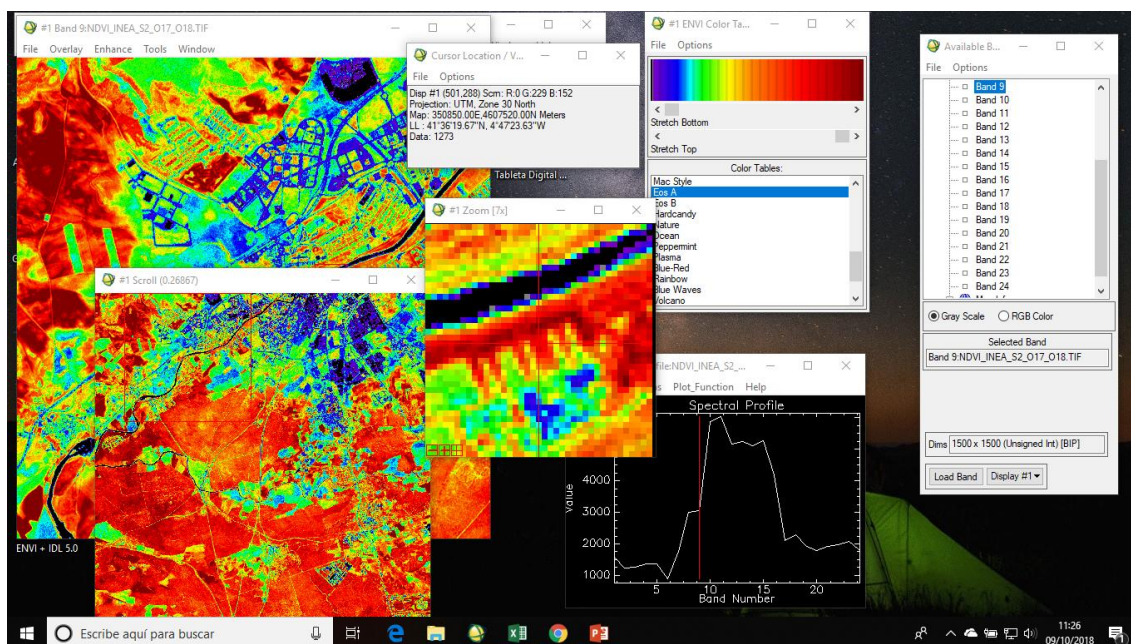


Figura 4. Análisis de imágenes de satélite.

A cada imagen de NDVI de cada día válido (con una imagen zoom y scroll del área de estudio), hay que añadir, una gráfica que da la evolución del NDVI de cada pixel (10x10 m) a lo largo de todos los días (en nuestro caso 24 días). Además, cada imagen ofrece la posibilidad de obtener las coordenadas geográficas de cada punto, así como el valor específico de NDVI en cada pixel.

En este primer año de ensayos se está realizando un visionado manual de las imágenes de vigor día a día y se compara con el resto de datos. Al mismo tiempo se está elaborando un procedimiento automático que recoja en una hoja de cálculo todos los datos de los que se dispone para cada ensayo (conteo de arvenses, análisis en laboratorio de foliares y suelo e índice NDVI) y que un algoritmo específico permita comparar los resultados obtenidos en cada parcela del ensayo en los próximos años de manera automática, comparando los diferentes tratamientos en ecológico y las rotaciones de suelo con el fin de distinguir la mejor combinación si lo hubiera.

#### 4. Conclusiones

Por ser la primera anualidad del ensayo no puede hablarse aun de conclusiones. Simplemente es importante dejar registradas las primeras observaciones y resultados (comentados en el apartado anterior) para contrastarlas con las de las siguientes campañas.

#### Referencias

1. Houborg, R., Fisher, J.B., Skidmore, A.K. Advances in remote sensing of vegetation function traits. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2015, 43, 1-6.
2. Van Evert, F.K., Booji, R., Jukema, J.N., ten Berge, H.F.M., Uenk, D., Meurs, E.J.J.B., van Geel, W.C.A., Wijnholds, K.H., Slabbekoorn, J.J.H. Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. *Eur. J. Agron.* 2012, 43, 58-67
3. Elarab, M., Tlclavilca, A.M., Torres-Rua, A.F., Maslova, I., McKee, M. Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precisiónagricultura. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2015, 43, 32-42.
4. Al-Gaadi, K.A., Hassaballa, A.A., Tola, E., Kayad, A.G., Madugundu, R., Alblewi, B., et al. 2016. Prediction of potato crop yield using precisiónagricultura techniques. *PIOS ONE* 11 (9).
5. Klug, P., Schlenz, F., Hank, T., Migdall, S., Weib, I., Danner, M. et al. 2016. Implementation of Sentinel-2<sup>nd</sup> data in the M4Land system for the generation of continuous information products in agricultura. In. *Living Planet Symposium*. SP:-740. EuropeanSpace Agency.