



Fundación Estatal
PARA LA FORMACIÓN EN EL EMPLEO

CURSO ONLINE

PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS POR MEDIO DE LA TELEDETECCIÓN



**Tema 4.1.2. Dosificación variable de insumos:
Zonificación con SATIVUM**

1. ÍNDICE.....	0
1. Introducción.....	2
2. Agricultura de Precisión. Dosificación variable.....	2
2.1 Teoría básica: conceptos y fundamentos.....	2
2.1.1 Aplicación de Dosificación variable de inputs (Variable Rate Application: VRA) ..	4
2.1.2 Tipo de maquinaria utilizada en la dosificación variable	5
2.1.3 Caracterización de los tipos de Dosificación Variable.....	7
2.1.4 Fuentes de datos para Dosificación Variable basada en mapas	8
2.1.5 Uso de SATIVUM para el mapeo y la dosificación variable	11
2.2 Obtención de un mapa inmediato de dosificación variable en SATIVUM	13
2.2.1 Zonificación propuesta por SATIVUM	14
2.2.2 Creación de un mapa con dos zonas	16
2.2.3 Creación de un mapa zonificado procedente de un promedio de varias fechas	17

Tema 4.1.2. Dosificación variable de insumos: Zonificación con SATIVUM

1. Introducción

En agricultura, la *dosificación variable* se refiere al uso de tecnologías y herramientas para ajustar la cantidad de insumos (como fertilizantes, agua, pesticidas o semillas) de manera precisa y localizada, en función de las necesidades específicas de cada área dentro de un campo agrícola. Este enfoque forma parte de la agricultura de precisión y busca optimizar el uso de recursos, mejorar los rendimientos y minimizar el impacto ambiental.

SATIVUM ofrece un módulo que permite realizar una zonificación de parcelas agrícolas. Su principal característica es la capacidad de generar mapas de dosificación variable en cualquier parcela de España.

Esta funcionalidad permite:

1. **Acceso a datos históricos:** SATIVUM utiliza datos de las últimas **6 campañas agrícolas**. Esto significa que puedes aprovechar información acumulada a lo largo del tiempo para tomar decisiones más precisas y contextualizadas.
2. **Sin necesidad de servicios adicionales:** A diferencia de los servicios de mapeado de suelos o el uso de monitores de rendimiento en cosechadoras, SATIVUM no requiere contratación adicional. Puedes obtener mapas de dosificación variable directamente desde la herramienta.
3. **Consistencia y comparabilidad:** Las imágenes de satélite proporcionan datos sistemáticos e intercomparables a lo largo de los años. Esto te permite evaluar cambios en la parcela con una perspectiva histórica y tomar decisiones informadas.

En resumen, SATIVUM simplifica la creación de mapas de dosificación variable al aprovechar datos satelitales y ofrecer una solución integral sin necesidad de recursos adicionales.

2. Agricultura de Precisión. Dosificación variable

2.1 Teoría básica: conceptos y fundamentos.

La **agricultura de precisión** es un enfoque innovador que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar la producción agrícola y gestionar los recursos de manera más eficiente. Este sistema se basa en la recopilación y análisis de datos para tomar decisiones informadas sobre el cultivo y el manejo del suelo. Entre las herramientas utilizadas se encuentran el uso de sensores, drones, imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG), que permiten a los agricultores obtener información detallada sobre sus cultivos y el estado del suelo.

El objetivo de la agricultura de precisión es aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental al aplicar solo la cantidad necesaria de insumos, como fertilizantes y pesticidas, en el momento adecuado y en las áreas específicas donde se necesitan. Este enfoque también

contribuye a la sostenibilidad, ya que minimiza el desperdicio de recursos y puede mejorar la rentabilidad a largo plazo.

Como se ha comentado en la introducción, dentro de la agricultura de precisión, la **dosificación variable** se refiere a la aplicación específica y ajustada de insumos (como fertilizantes, semillas y pesticidas) en función de las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo en diferentes zonas del campo. En lugar de aplicar la misma cantidad de insumos en todo el terreno, la dosificación variable permite ajustar la cantidad a aplicar en función de factores como:

- *Niveles de nutrientes*: Medidos a través de análisis de suelo.
- *Humedad del suelo*: Monitoreada mediante sensores.
- *Estado de crecimiento de los cultivos*: Evaluado visualmente o mediante tecnología de imágenes.

Para modernizar su explotación con agricultura de precisión, un agricultor necesita implementar tecnología de monitoreo, como sensores de suelo y drones, así como software de gestión, incluyendo sistemas de información geográfica y plataformas de análisis de datos. Además, es fundamental contar con **maquinaria** que permita la aplicación variable de insumos, recibir capacitación y asesoría técnica, y asegurar conectividad a Internet.

En el contexto de que la agricultura de precisión es un enfoque que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar el rendimiento y la sostenibilidad de las actividades agrícolas, el **GPS** (Sistema de Posicionamiento Global) juega un papel fundamental, ya que permite la localización exacta de las máquinas y equipos en el campo, lo que facilita tareas como la siembra, fertilización y riego con una precisión milimétrica.

El **ISOBUS**, por otro lado, es un estándar de comunicación que permite la integración de equipos agrícolas, como tractores y sembradoras, con sistemas electrónicos y de control, facilitando su operación y automatización. Al combinar ISOBUS con GPS, los agricultores pueden gestionar sus operaciones de manera más eficiente y con menos intervención manual.

Finalmente, **TC_GEO o Controlador de Tareas Geográfico**, es una herramienta que permite recopilar, analizar y visualizar datos geoespaciales, complementando el uso del GPS y ISOBUS. Esta tecnología permite generar mapas de rendimiento, análisis de zonas de cultivo y aplicaciones personalizadas para mejorar la toma de decisiones en función de las variaciones del terreno.

En conjunto, el GPS, ISOBUS y TC_Geo proporcionan una solución integral que maximiza la precisión, la eficiencia y la sostenibilidad en la agricultura de precisión, permitiendo a los agricultores gestionar de forma más inteligente y rentable sus recursos y cultivos.

Como ya se ha comentado, la **agricultura de precisión** ha revolucionado la forma en que se gestionan los cultivos, y la **dosificación variable** es una de sus principales herramientas, permitiendo aplicar insumos de manera personalizada según las necesidades específicas de cada zona del campo. Sin embargo, para que esta dosificación variable sea posible y efectiva, es imprescindible contar con una plataforma de **información geoespacial** compatible con el **estándar ISOBUS- TC_GEO**, que recopilará, analizará y visualizará datos detallados sobre el terreno y el rendimiento de los cultivos.

El proceso pasa por recibir información geoespacial a través de **ISOBUS**, la posibilidad de trabajar con múltiples categorías de dosificación simultáneamente y la integración con

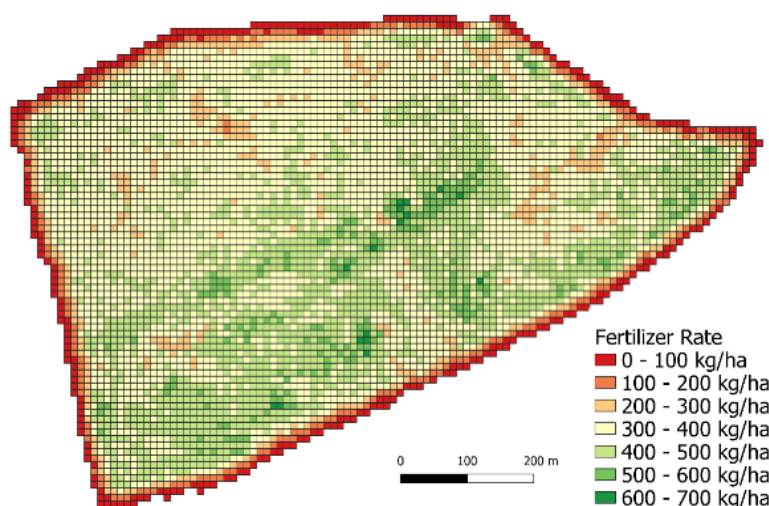
herramientas como **TC_GEO** para un análisis preciso de la parcela. Sin TC_GEO, aunque se tenga un aforo ISOBUS, no es posible implementar una dosificación variable precisa, ya que esta herramienta permite mapear las variaciones del suelo y del cultivo, garantizando que los insumos se apliquen de manera óptima, reduciendo desperdicios y mejorando la eficiencia de los recursos en la agricultura de precisión.

2.1.1 Aplicación de Dosificación variable de inputs (Variable Rate Application: VRA)

Variable Rate Application (VRA) o Aplicación de Dosificación Variable es una técnica utilizada en la agricultura de precisión que permite ajustar la cantidad de insumos (*como fertilizantes, semilla, productos fitosanitarios, e incluso el agua*) aplicados en diferentes zonas de un campo, en función de la variabilidad espacial del terreno y las necesidades específicas de los cultivos.

En lugar de aplicar la misma cantidad de insumos en todo el campo, la VRA utiliza datos geoespaciales y tecnología como el GPS, sensores y mapas de rendimiento para identificar áreas con diferentes características (por ejemplo, tipos de suelo, humedad, nutrientes disponibles, etc.). De este modo, se puede ajustar la aplicación de insumos en tiempo real, asegurando que cada zona reciba la cantidad adecuada, lo que optimiza el uso de recursos, reduce costos y minimiza el impacto ambiental.

La **sistemática de dosificación variable** es sencilla y se basa en dividir la parcela en **unidades de manejo** que reflejan las diferentes características del terreno. A cada una de estas unidades se le asigna un **número de categorías** en función de un **ratio de control**, que puede estar determinado por diferentes variables y así, aplicar los insumos de manera diferenciada y precisa, ajustándose a las necesidades específicas de cada zona.



La **dosificación variable** es especialmente justificable para insumos costosos, como fertilizantes y semillas, porque permite optimizar su uso y reducir el desperdicio. Al aplicar la cantidad exacta de insumos según las necesidades específicas de cada zona del campo, basada en datos precisos del terreno y el rendimiento de los cultivos, se evita la sobreaplicación, que puede resultar en un gasto innecesario y en impactos ambientales adversos.

La **sistemática de dosificación variable** puede estar basada tanto en **mapas de prescripción**, como es el caso de **SATIVUM**, como en **sensores en tiempo real**. Los mapas de prescripción permiten predefinir las zonas de aplicación según datos históricos o análisis previos del terreno, mientras que los sensores en tiempo real recogen datos actualizados durante el cultivo, ajustando la aplicación de insumos en función de las condiciones inmediatas del campo.



2.1.2 Tipo de maquinaria utilizada en la dosificación variable

La dosificación variable en la agricultura de precisión requiere el uso de diferentes tipos de maquinaria y aperos especializados que permiten ajustar la aplicación de insumos según las características del terreno y las necesidades del cultivo. A continuación, se presentan los principales tipos de maquinaria utilizados para este propósito.

A- Sembradoras de Dosificación Variable

Las sembradoras permiten la siembra precisa de cultivos ajustando la cantidad de semillas en función de la densidad de siembra óptima para cada área del terreno. Estas máquinas



están conectadas a sistemas de gestión SIG o basadas en sensores, lo que permite variar la tasa de siembra según las condiciones del suelo o las previsiones de rendimiento.

El mecanismo de dosificación de la sembradora, a diferencia de los sistemas tradicionales, está desconectado de las ruedas de mando de la máquina y opera a través de un motor (*eléctrico o hidráulico*) paso a paso. Este motor

controla la liberación de las semillas de manera precisa: cada vez que recibe un impulso eléctrico, deposita una semilla. Para garantizar que la siembra sea uniforme y acorde a las necesidades del terreno, la máquina monitorea y ajusta la dosificación de semillas en función de la velocidad a la que se desplaza el vehículo o el apero. Esta información de velocidad puede obtenerse de diversas fuentes, como el GPS, el estándar de comunicación **ISOBUS**, red CAN bus, un **receptor Geo** o un **radar**, entre otras. Con estos datos, el sistema ajusta la tasa de siembra según la dosis predefinida en un **mapa de prescripción**, asegurando que la cantidad de semillas aplicadas sea óptima en cada zona del campo.

B- Abonadoras de proyección de Dosificación Variable

Estas máquinas suelen contar con dos discos rotatorios encargados de proyectar el fertilizante de manera uniforme, controlado por mecanismos que regulan la tasa de aplicación según datos proporcionados por mapas de prescripción, sensores o sistemas de GPS.

Cada uno de estos discos está equipado con actuadores que regulan el punto de descarga,



lo que permite ajustar de manera precisa la cantidad de fertilizante que se aplica en cada zona del campo.

Muchas abonadoras de proyección incluyen células de carga para medir en tiempo real el peso del fertilizante en el depósito, permitiendo monitorear y ajustar la dosificación durante la operación. Esta tecnología proporciona un control más exacto sobre la cantidad de fertilizante aplicado, optimizando el uso de insumos y reduciendo el desperdicio.

En cuanto a la aplicación de líquidos, aunque resulta teóricamente más sencilla debido a que se puede regular la presión del fluido para controlar la cantidad de producto, las boquillas de los pulverizadores presentan limitaciones. Estas boquillas tienen un margen de maniobra más reducido, lo que impide realizar grandes variaciones en la cantidad de líquido aplicado en tiempo real. Sin embargo, los sistemas de dosificación de líquidos siguen siendo efectivos en la regulación del volumen de insumos distribuidos, aunque con menos flexibilidad comparado con los sistemas de proyección de sólidos.

C- Maquinaria para distribución de productos líquidos con Dosificación Variable

En la distribución de productos líquidos mediante sistemas de dosificación variable, el control del flujo es más sencillo en teoría que con productos sólidos. Esto se debe a que la cantidad de líquido aplicado puede ajustarse de manera precisa mediante la regulación de la presión del fluido. Al incrementar o disminuir la presión, se puede controlar con exactitud el volumen de producto que sale a través de las boquillas, lo que facilita ajustar la dosificación en tiempo real según las necesidades del cultivo o las condiciones del terreno.

Sin embargo, a pesar de esta facilidad en el control de la presión, existen limitaciones



prácticas con respecto a las boquillas utilizadas para la pulverización. Las boquillas tienen un rango de funcionamiento limitado, lo que significa que no permiten realizar grandes variaciones en la cantidad de líquido aplicado sin comprometer la eficiencia de la pulverización o la distribución uniforme. Estas restricciones obligan a los agricultores a encontrar un equilibrio entre la presión

del fluido y el tamaño de las gotas para lograr la mejor cobertura posible sin desperdiciar insumos.

En resumen, aunque la regulación de la presión hace que el manejo de líquidos sea relativamente fácil, las boquillas imponen limitaciones que restringen las variaciones drásticas en la dosificación, lo que requiere una calibración precisa para obtener una distribución eficiente del producto.

2.1.3 Caracterización de los tipos de Dosificación Variable

La **dosificación variable** en la agricultura de precisión puede implementarse mediante dos enfoques principales: **basada en mapas** y **basada en sensores en tiempo real**.

Ambos sistemas permiten ajustar la cantidad de insumos (fertilizantes, semillas, pesticidas, etc.) aplicados en el campo, optimizando el uso de recursos y mejorando la productividad.

I.- Dosificación Variable Basada en Mapas

Este tipo de dosificación requiere la elaboración previa de **mapas de prescripción**, que son generados a partir de datos geospaciales históricos o recopilados previamente mediante sistemas de información geográfica (SIG/GIS). Para esta utilidad es para lo que se utilizará **SATIVUM**.

Los mapas contienen información detallada sobre las variaciones en las características del terreno (calidad del suelo, el contenido de nutrientes, el rendimiento de cultivos previos...). Es entonces cuando la pantalla gobierna al apero y le va diciendo en qué lugar está y qué dosis le corresponde, siempre gracias al posicionamiento calculado a partir de la red GNSS.

II.- Dosificación Variable Basada en Sensores

Este tipo de dosificación basada en **sensores en tiempo real** ajusta automáticamente la cantidad de insumos aplicados durante la operación, en función de las condiciones actuales medidas sobre el terreno y el cultivo.

Ajusta automáticamente la aplicación de insumos sin la necesidad de un mapa de prescripción previo. Los sensores, montados en la maquinaria o en el campo, miden el estado del cultivo o del suelo en tiempo real, como el vigor de las plantas o la humedad del terreno, y ajustan la dosis de insumos según esos datos.

Aunque esta tecnología puede parecer muy apropiada, ya que no requiere mapas ni sistemas de posicionamiento GPS, tiene algunos inconvenientes. Uno de los principales es la necesidad de realizar **calibraciones iniciales**, ya que, al no tener una visión global de la parcela, no se sabe si se empieza en una zona con buen o mal vigor de cultivo. Para solventarlo y obtener buenos resultados, es recomendable hacer una **pasada de calibración** (por ejemplo, una diagonal de la parcela) para establecer los rangos en los que el sistema debe aplicar insumos. De lo contrario, la aplicación podría no ser óptima en algunas áreas.

Aunque esta opción es flexible y se adapta en tiempo real a las condiciones cambiantes del terreno, requiere esa calibración inicial para garantizar un ajuste correcto de los insumos en toda la parcela.

2.1.4 Fuentes de datos para Dosificación Variable basada en mapas

Las principales fuentes de datos geoespaciales que proporcionan la información necesaria para crear **mapas de prescripción** son:

a.- Mapeado de suelo mediante conductividad eléctrica

Este tipo de mapeo utiliza sensores que miden la **conductividad eléctrica del suelo**, es decir, la capacidad del suelo para conducir electricidad. Este parámetro está estrechamente relacionado con la humedad del suelo y las partículas finas del terreno. En términos generales, cuanto mejor conduce el suelo la electricidad, mayor es su fertilidad.



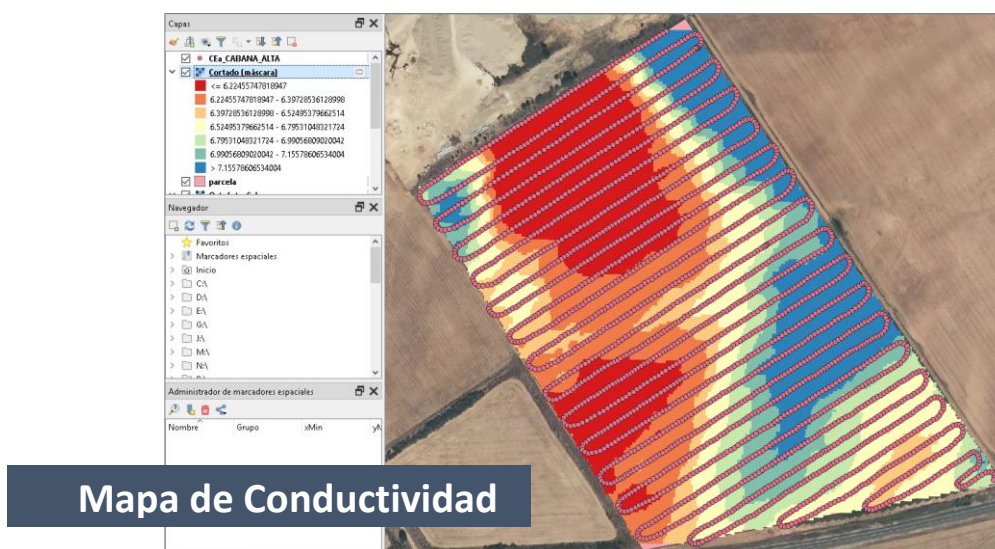
Este tipo de sensor ofrece la ventaja de proporcionar información duradera y confiable sobre las características del suelo, ya que la conductividad eléctrica es un parámetro que no cambia rápidamente. En zonas semiáridas como la de Castilla y León, el mapeo de conductividad eléctrica puede ser una herramienta útil para detectar variaciones de fertilidad a lo largo de una parcela, permitiendo ajustar la dosificación variable de fertilizantes de

forma más eficiente. El coste de pasar un sensor de conductividad eléctrica por hectárea puede oscilar entre **40 y 50 euros**, y, aunque la realización de mapas puede aumentar algo el coste.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes. El coste inicial del mapeo y los sensores puede ser elevado, y puede requerir actualizaciones periódicas para mantener la precisión

de los mapas. Además, hay que valorar la medición de otros parámetros como la **salinidad**, que a valores altos disminuye la fertilidad del suelo.

Un ejemplo de mapeo de suelos, que se lleva a cabo mediante un proceso en **QGIS**. En este caso, se extrae información de sensores arrastrados por el terreno, con una distancia de aproximadamente *20 metros entre pasadas*. Utilizando **GPS**, se crea una zonificación detallada de la parcela.



b.- Monitor de rendimiento en cosechadora

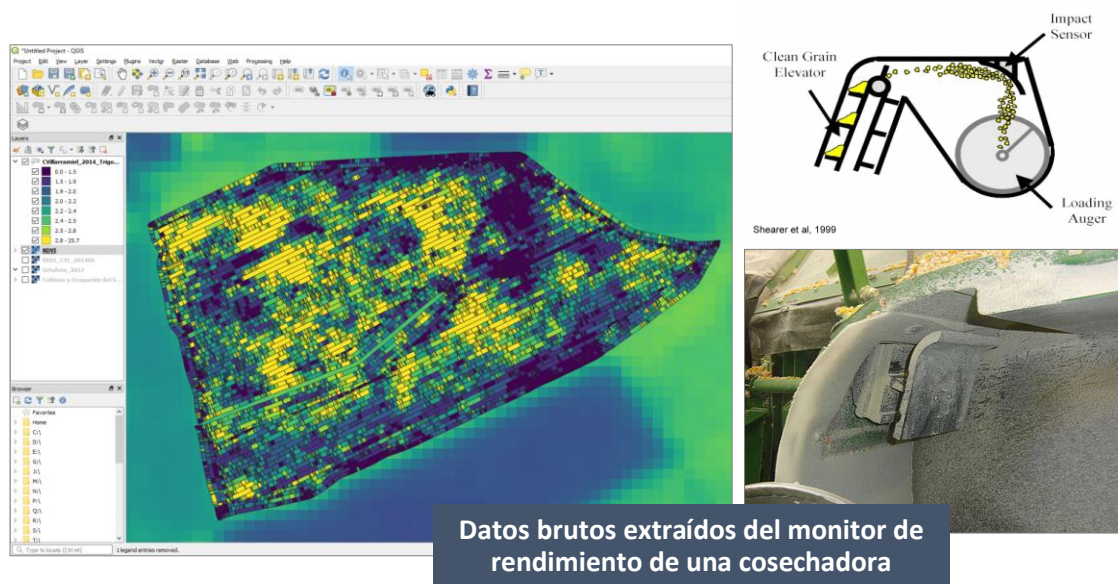


Esta es otra opción, quizás la más conocida. Aunque se suele considerar de "coste gratuito", en realidad tiene un coste marginal con respecto al coste de cosecha. Este trabajo se estima que puede tener un valor aproximado de 5 euros por hectárea.

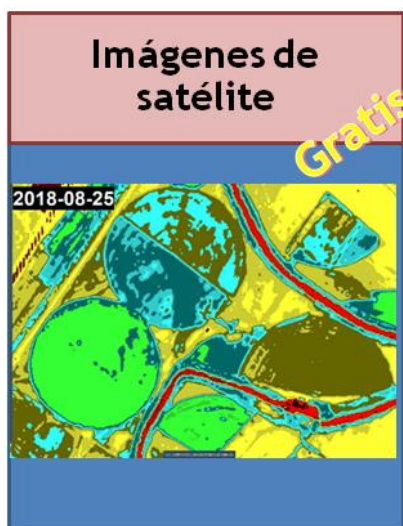
Las máquinas cosechadoras utilizadas en esta opción están equipadas con diferentes tipos de sensores con distintas tecnologías que se verán más adelante brevemente. Estas tecnologías son muy útiles para realizar una estimación precisa del potencial productivo verdadero, ya que miden directamente el grano cosechado.

Uno de los principales inconvenientes de este sistema es la necesidad de calibraciones periódicas, que han de realizarse pesando y vaciando varias tolvas, ajustando así la precisión de los sensores. La calibración puede variar dependiendo del producto cosechado y del peso específico del mismo.

Un ejemplo de parcelas equipadas con monitores de rendimiento; los sensores de las cosechadoras instalados en el elevador de grano detectan el flujo del grano. Uno de estos sensores mide el impacto del grano para estimar el flujo másico que entra en la cosechadora. Además, existen sensores ópticos que miden la superficie ocupada por la semilla al pasar sobre un fondo, proporcionando así dos tecnologías clave para la estimación de rendimiento.



c.- Imágenes de satélite



Las imágenes de satélite representan otra fuente de datos importante. Dependiendo del origen de los datos, algunas imágenes pueden obtenerse de manera gratuita. Por ejemplo, es posible acceder a imágenes cada 5 días con una resolución de 10x10 metros, lo que permite generar microparcelas de 100 m². Aunque éstas no son prácticas para el manejo agrícola, esta fuente de información es extremadamente valiosa.

Una de las principales ventajas de las imágenes satelitales es su disponibilidad inmediata. No solo permiten monitorear las parcelas actuales en cualquier parte del mundo, sino que también permiten acceder a imágenes históricas. Esto facilita el análisis retrospectivo del estado de los cultivos en años

anteriores. Por ejemplo, se puede consultar una parcela de maíz en 2018 y observar su evolución en ese momento. Esta capacidad de retroceder en el tiempo es una característica única que no ofrecen otras fuentes de datos.

Sin embargo, la información que no ha sido previamente registrada mediante mapeo o cosecha ya no se puede recuperar, lo que representa una limitación en comparación con

otras fuentes. Además, el mapeo de suelos requiere un trabajo específico para su obtención, lo cual no puede suplirse únicamente con imágenes de satélite.

Además, hay que tener en cuenta, que las imágenes de satélite se centran en la **biomasa**, que incluye la vegetación total (excepto el grano). Esto puede llevar a situaciones donde se observan altas densidades de siembra o grandes cantidades de biomasa que no necesariamente se correlacionan con un alto rendimiento, como ocurre en casos de excesiva densidad de siembra o condiciones climáticas desfavorables (primaveras húmedas seguidas de veranos secos).

Índices de Vegetación



Fuente: <http://www.greatlakesdronecompany.com/agriculture/>

Es posible debatir cuál es la mejor fuente de datos, pero lo cierto es que cada una tiene sus ventajas e inconvenientes, y todas son complementarias.

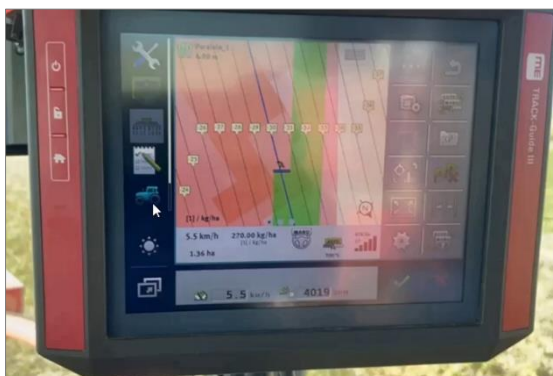
SATIVUM se centra en el uso de imágenes satelitales como la fuente principal de datos.

2.1.5 Uso de SATIVUM para el mapeo y la dosificación variable

En este apartado se va a justificar el por qué SATIVUM utiliza como fuente de datos para generar mapas que permitan conocer la variabilidad intraparcelsaria, las imágenes de satélite.

Aunque en este manual se trabajará únicamente con SATIVUM, es importante destacar que existen otras fuentes de datos. Sin embargo, **SATIVUM** ofrece una gran ventaja: pone al alcance de cualquier persona la capacidad de crear mapas de dosificación variable para cualquier parcela. Estos mapas se pueden basar tanto en los datos actuales de la campaña en curso, como en la información histórica de años anteriores.

Un ejemplo práctico y real, es la creación de un mapa de dosificación variable a partir de los píxeles de una imagen de satélite, que se cargan en una pantalla, en este caso de un fabricante como Müller.



Es importante señalar algunas limitaciones de SATIVUM. Uno de los principales inconvenientes es que las imágenes satelitales proporcionan información sobre la biomasa, que se refiere a la masa vegetal sin tener en cuenta el grano. Esto puede dar lugar a interpretaciones inexactas en casos de:

- **Densidades de siembra excesivas**, donde se genera una gran cantidad de biomasa que no se correlaciona con un alto rendimiento de grano.
- **Condiciones climáticas adversas**, como inviernos y primaveras húmedas seguidas de finales de primavera muy secos. En estos casos, aunque la biomasa sea abundante, el rendimiento de grano puede ser bajo debido a la caída del índice de cosecha.



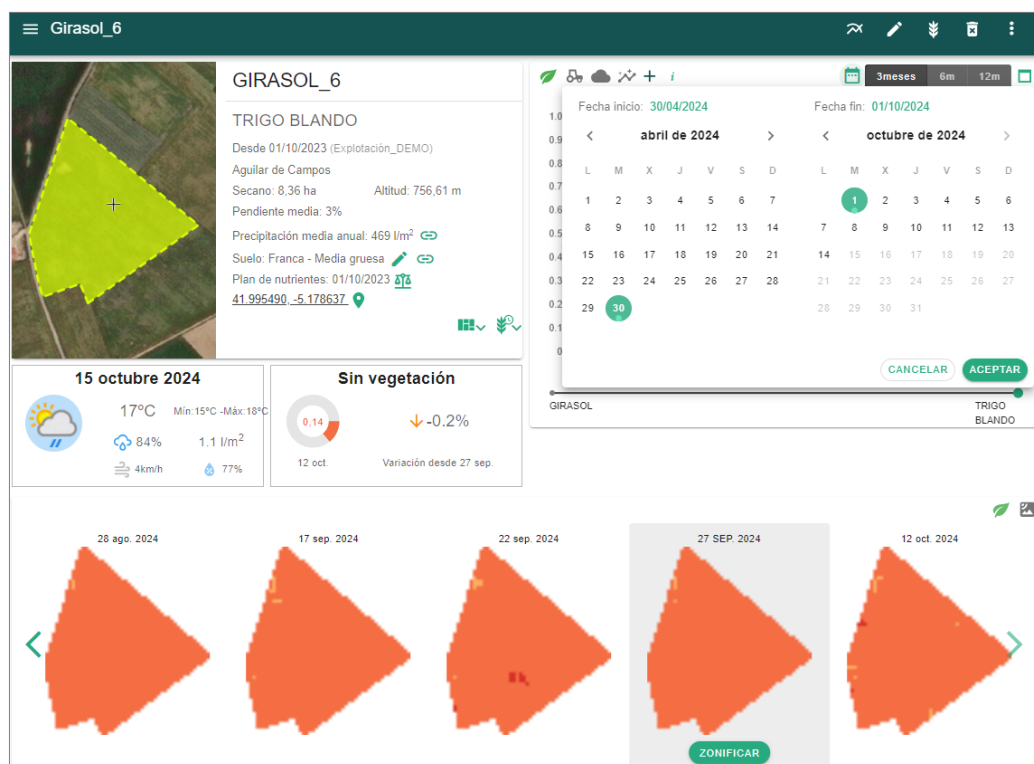
A pesar de sus limitaciones, SATIVUM es una excelente alternativa para quienes no cuentan con un historial de datos de monitores de rendimiento. Su principal fortaleza radica en la intercomparabilidad y reproducibilidad de los datos. Las imágenes satelitales han estado en uso durante muchos años, lo que permite comparar de manera homogénea los datos actuales con los de campañas pasadas. Esta consistencia no puede lograrse con otras fuentes, como los sensores de cosechadoras, que pueden variar en calibración, o los sensores de suelo, que son sensibles a condiciones variables.

En resumen, SATIVUM ofrece una herramienta confiable para generar mapas que permiten estudiar la variabilidad de las parcelas y tomar decisiones basadas en información consistente y retrospectiva de años anteriores, algo que otras tecnologías no pueden ofrecer.

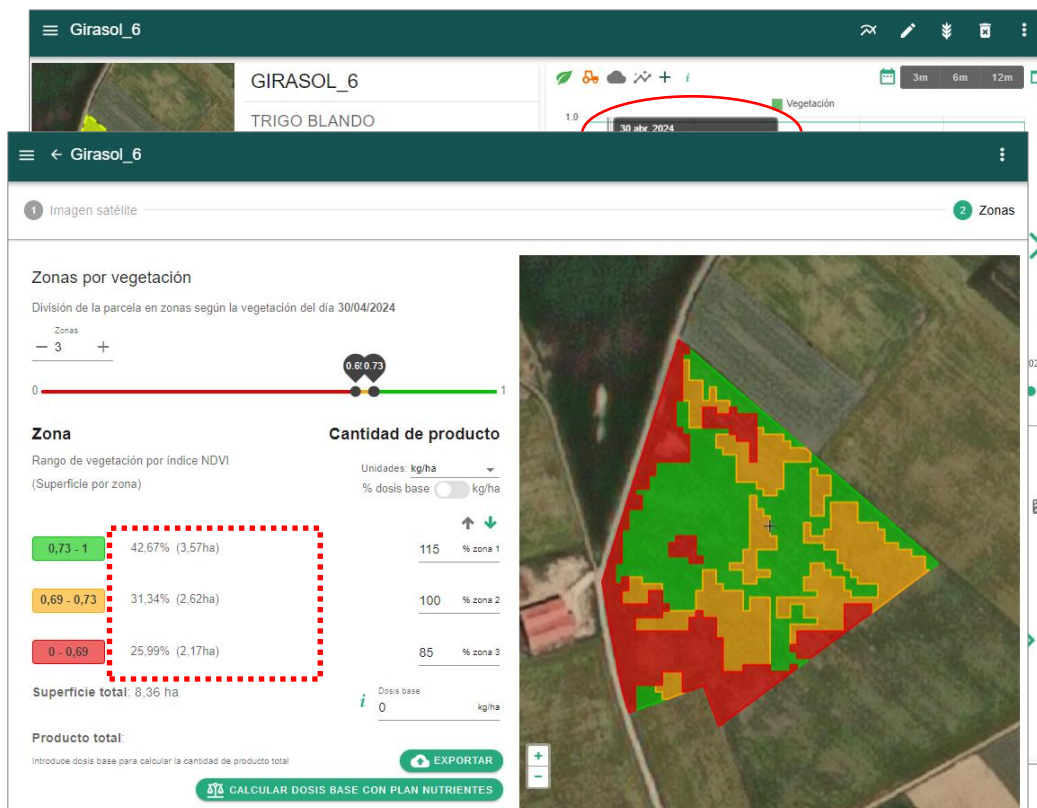
2.2 Obtención de un mapa inmediato de dosificación variable en SATIVUM

En este apartado, se explicará el proceso para generar un mapa de dosificación variable utilizando SATIVUM. Se trabajará en la explotación_DEMO, buscando la parcela denominada 'Girasol 6 a partir de la fecha 30 de abril de 2024', con la que ya se ha trabajado previamente. A lo largo de los siguientes pasos, se detallará cómo utilizar los datos disponibles para ajustar la dosificación de insumos, optimizando la gestión de la parcela según su variabilidad intraparcelsaria.

- Desde el menú explotación seleccionar la parcela.
- Entrar en su cuadro de detalle y seleccionar en el calendario la fecha indicada o unos días anteriores para poder seleccionar en la gráfica el *30 de abril de 2024* (este paso no es necesario, si se es capaz de seleccionar el punto de la imagen de satélite disponible en la gráfica de evolución del cultivo correspondiente a la fecha indicada).



- Seleccionar la imagen correspondiente a la fecha 30 de abril de 2024 y pulsar sobre el botón ‘Zonificar’.



- De entrada, la aplicación propone una zonificación con tres zonas en función del vigor de la vegetación basada en la imagen de satélite: una buena (la verde), una zona mediana (la amarilla) y una zona regular (la roja), para esta parcela de trigo.

En la interface de esta pantalla conviene definir dos apartados clave a modo de ayuda para guiar al usuario en el uso eficiente de la herramienta:

i. Dosis Base

Es la cantidad de producto promedio a utilizar en la parcela. Si por ejemplo, una parcela requiere una mayor cantidad por ser más productiva, esta cantidad se aumentará en el porcentaje que se especifique.

ii. Producto Total

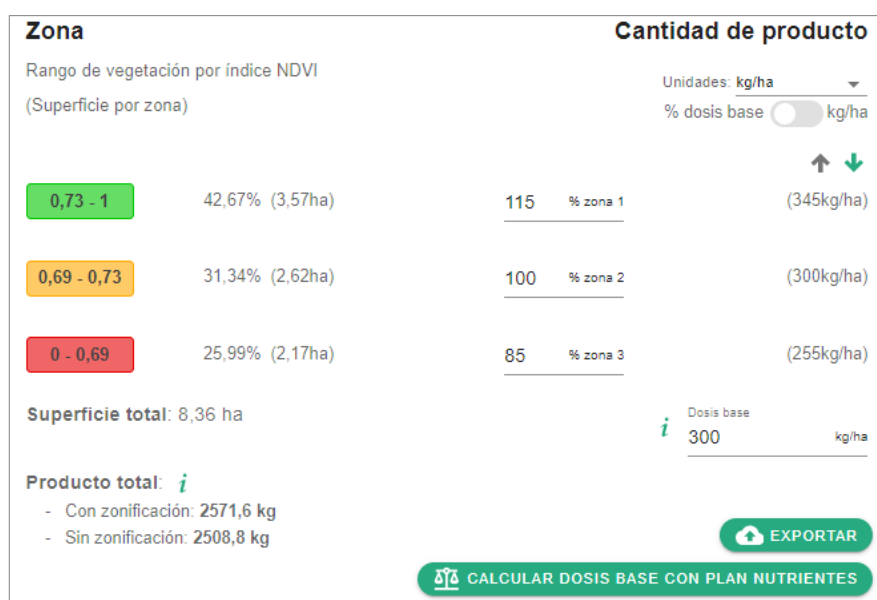
- Con zonificación: cantidad total de producto a aplicar en la parcela para dosificación variable según la actual zonificación y configuración.
- Sin zonificación: cantidad total de producto que hubieras aplicado sin hacer dosificación variable y según la dosis base indicada.

2.2.1 Zonificación propuesta por SATIVUM

En este apartado se va a justificar el por qué SATIVUM utiliza como fuente de datos para generar mapas que permitan conocer la variabilidad intraparcelsaria, las imágenes de satélite.

Directamente, se puede configurar la **dosis base** de fertilizante, por ejemplo, *300 kg por hectárea*, y la herramienta generará automáticamente la zonificación de dosificación variable. Para hacerlo, basta con seleccionar el botón '*Exportar*', donde se pedirá que se elija el tipo de pantalla donde se va cargar esta información. En este caso, se selecciona '*Fabricante: Otros*' y luego se vuelve a hacer clic en '*Exportar*'.

De esta forma, se creará un primer archivo en el que, sin realizar ningún ajuste manual, ya se habrá generado una zonificación de dosificación variable utilizando la última imagen de satélite disponible. Este archivo podría ser útil, por ejemplo, para realizar una fertilización de cobertura. Si se considera que en las zonas verdes de la parcela se debe aplicar un **115%** de la dosis base y en las zonas rojas un **85%**, la cantidad total de fertilizante no variará significativamente respecto a la dosificación inicial, pero se habrá optimizado el reparto. Es decir, las zonas de mayor productividad recibirán un suplemento, mientras que las áreas con menor rendimiento se ajustarán a una dosis más baja.



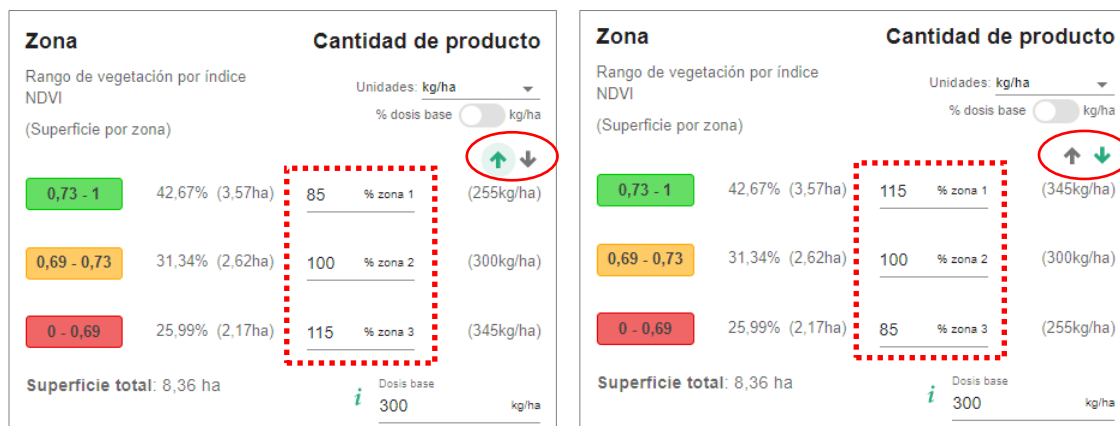
Un comentario habitual es qué estrategia seguir respecto a la dosificación de fertilizantes: si aplicar menos en las zonas de menor rendimiento para ahorrar fertilizante o, por el contrario, aplicar más fertilizante en esas áreas para intentar igualar la productividad de toda la parcela. Existen diferentes argumentos a favor y en contra, pero en términos generales, se puede decir que en una **situación de secano** lo más aconsejable es no aplicar más insumos en las zonas donde es poco probable recuperar la inversión. Es decir, los "inputs" deben ajustarse al potencial productivo de la parcela, sin sobrecargar las áreas donde el rendimiento será difícil de mejorar debido a las limitaciones naturales.

Por otro lado, en **situaciones de riego**, donde la capacidad productiva está más controlada gracias a la disponibilidad de agua, puede haber escenarios donde tenga sentido aplicar más fertilizante. Por ejemplo, en una parcela de maíz con una productividad muy alta, cerca de su máximo potencial (como en el caso de 20 toneladas por hectárea en algunas zonas), pero con otras áreas de la parcela que están en torno a las 15 toneladas. En este tipo de situaciones, podría ser rentable aplicar más fertilizante en esas zonas de menor rendimiento para aumentar

su productividad, tal vez hasta 17 toneladas, y así acercar la media de la parcela al máximo posible, que en este caso sería 20 toneladas.

En resumen, ambas estrategias son posibles, dependiendo del contexto y de los recursos disponibles, y pueden ser rentables según las condiciones de cada parcela.

SATIVUM dispone de la opción a través del icono de las dos flechas para modificar el orden del aporte de insumos.



2.2.2 Creación de un mapa con dos zonas

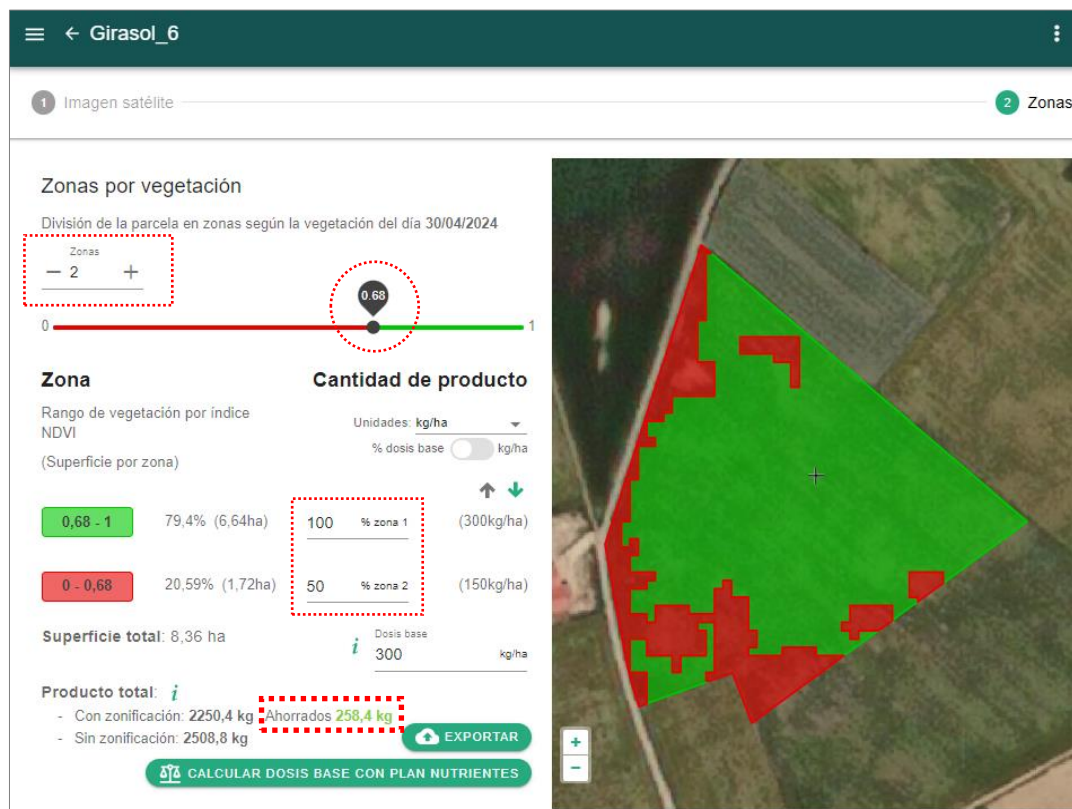
La herramienta también permite modificar el número de zonas de dosificación, pudiendo elegir, por ejemplo, tres o cuatro zonas, o incluso reducirlo a dos zonas si se prefiere una estrategia más agresiva.

Por ejemplo, si se decide ser muy agresivo en las zonas de menor rendimiento, se puede optar por aplicar solo el 50% de la dosis de fertilizante, o incluso el 100% en áreas críticas.

Esta es una estrategia claramente orientada al '**ahorro de insumos**'. Si, por ejemplo, se ajusta la zonificación a **dos zonas**, se establece el valor de NDVI en '**0,68**' (para diferenciarse las dos zonas) y se aplica un **50%** de la dosis en la zona peor de la parcela y el **100%** en la mejor, es posible ahorrar hasta '**258 kg por hectárea**', lo que se traduce en una reducción en la aportación de fertilizante.

De este modo, la herramienta permite optimizar el uso de fertilizantes ajustando la aplicación a las zonas con menor potencial productivo, generando un ahorro significativo en el consumo de insumos.

El proceso de exportación del mapa es el mismo que el explicado en el apartado anterior.

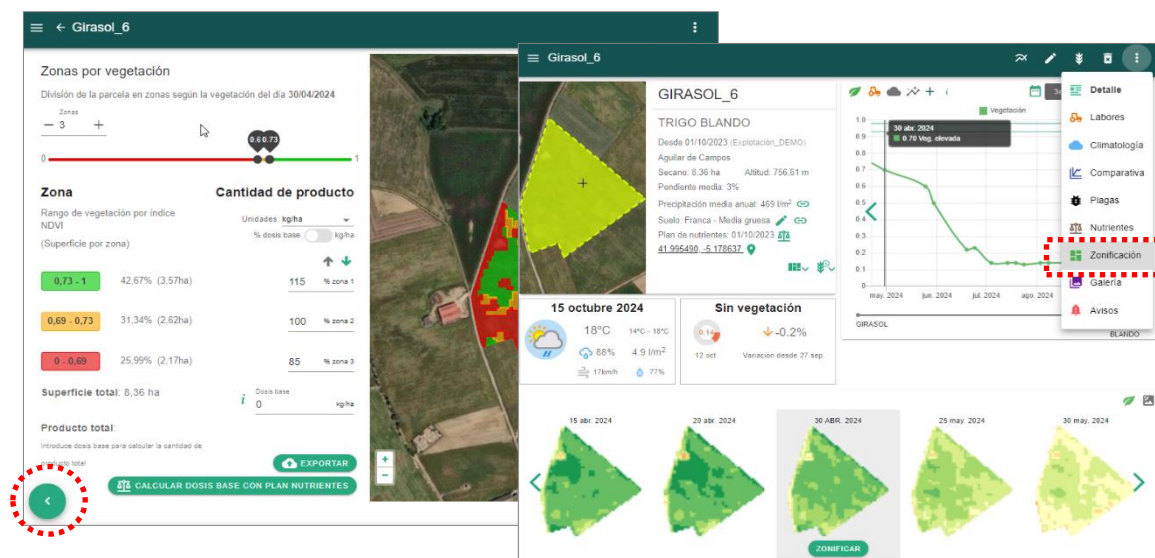


2.2.3 Creación de un mapa zonificado procedente de un promedio de varias fechas

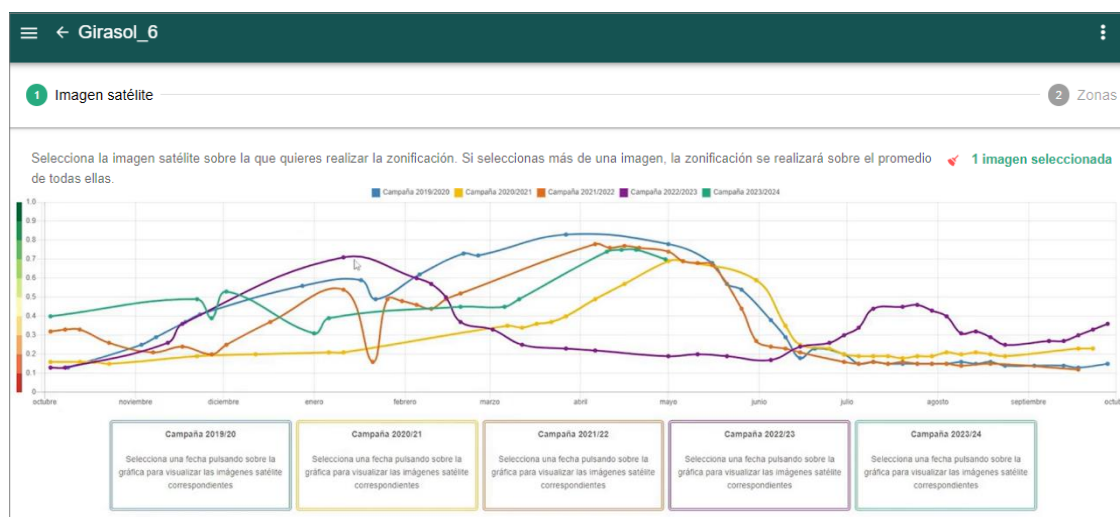
Para evaluar las fortalezas y limitaciones del suelo de una parcela, se puede crear una imagen promedio que integre los datos de los diferentes cultivos que se han sembrado en varias campañas. Este enfoque permite obtener una imagen más representativa de las condiciones generales de la parcela. Al utilizar múltiples imágenes a lo largo de varias fechas y cultivos, se obtiene un análisis más robusto que si solo se tomara una imagen en un momento específico que podría haber tenido condiciones excepcionales debido a un clima particular o alguna otra situación especial.

Para poder hacer esta selección, SATIVUM ofrece la herramienta de 'Zonificación'.

Existen dos opciones, o bien, acceder directamente a la funcionalidad de selección de imágenes para **zonificación** desde esta misma pantalla en el icono de la parte inferior izquierda, o bien, desde la opción 'Zonificación' del cuadro de control de la parcela.



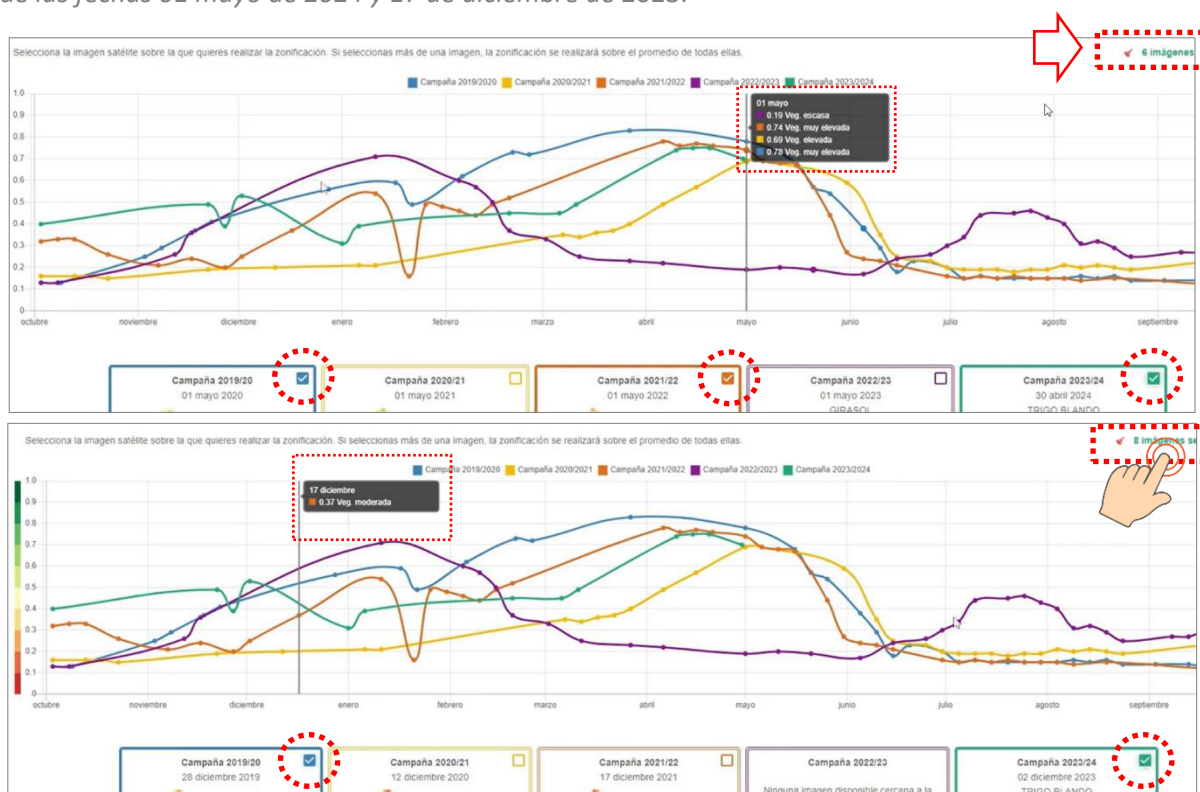
Aparece una gráfica que contiene la evolución de los cultivos en función del índice NDVI en las últimas campañas.



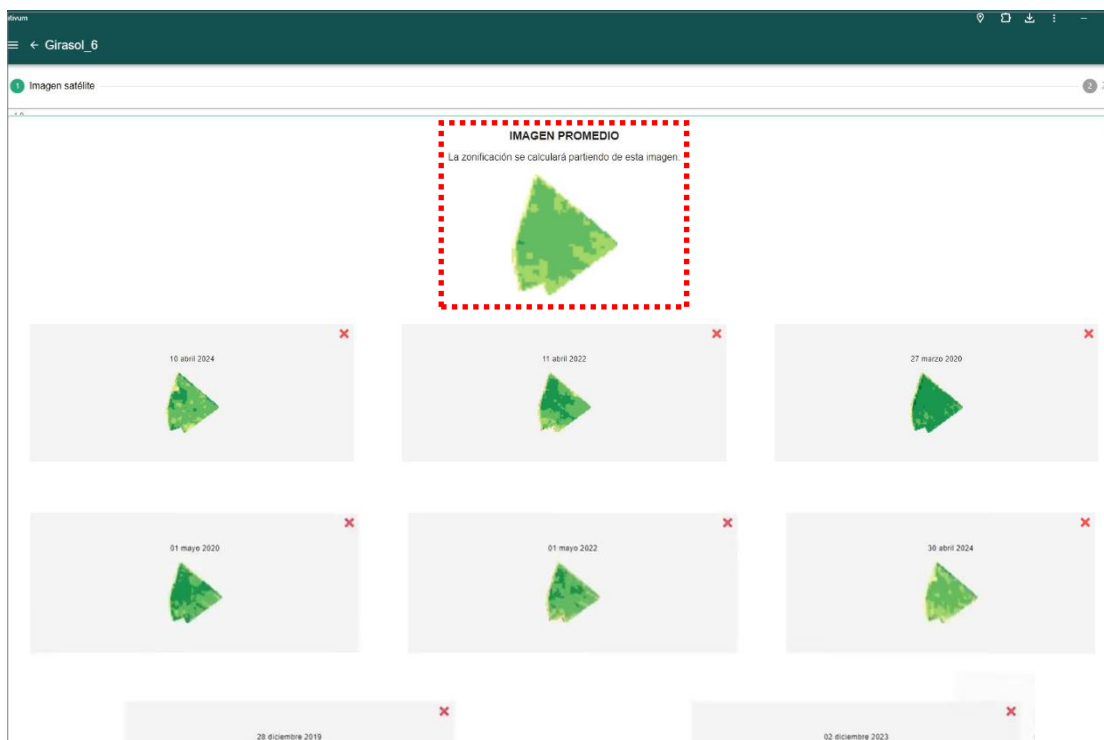
Así que, para la fecha de máximo vigor, el '11 de abril' se seleccionan en el carrusel de imágenes las campañas 2023/24, 2021/22 y 2019/20.



Para aumentar el número de datos para mejorar el cálculo del promedio se van a seleccionar, en carrusel de imágenes, para las mismas campañas (2023/24, 2021/22 y 2019/20) las imágenes de las fechas 01 mayo de 2024 y 17 de diciembre de 2023.



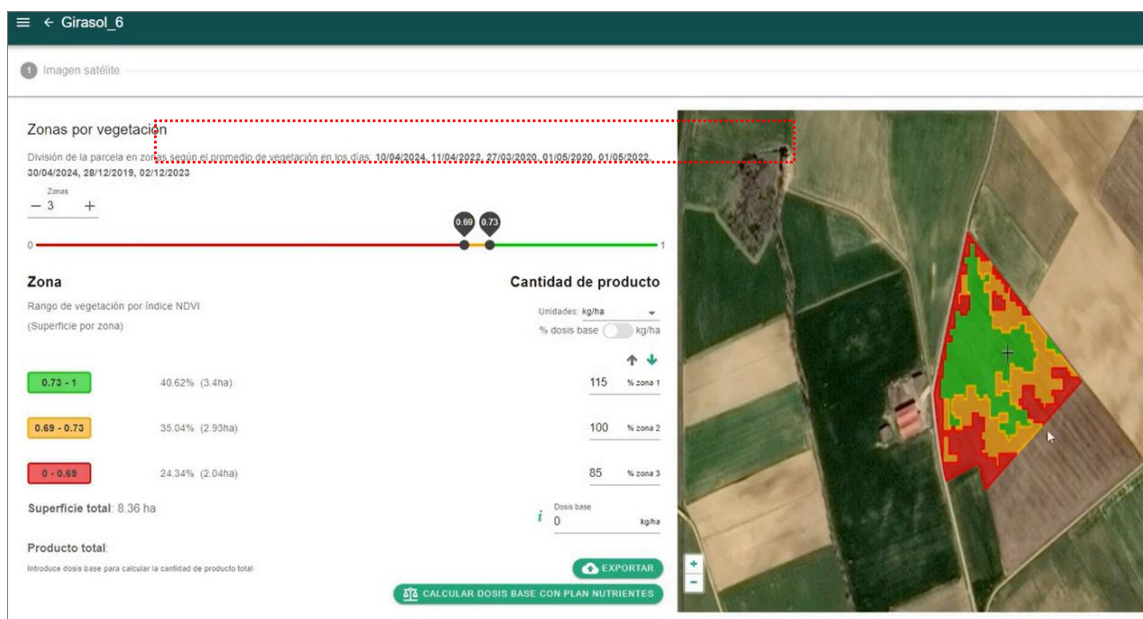
Una vez seleccionados los datos, se debe hacer clic en el vínculo que muestra el número de imágenes seleccionadas. Al hacerlo, SATIVUM calculará el promedio, y devolverá el resultado en una pantalla similar a la que se muestra en la imagen siguiente.



La zonificación se calculará a partir de la nueva imagen promedio. Así que el siguiente paso será volver al módulo de dosificación variable pulsando el icono de la flecha inferior derecha, tras cerrar la ventana emergente anterior.

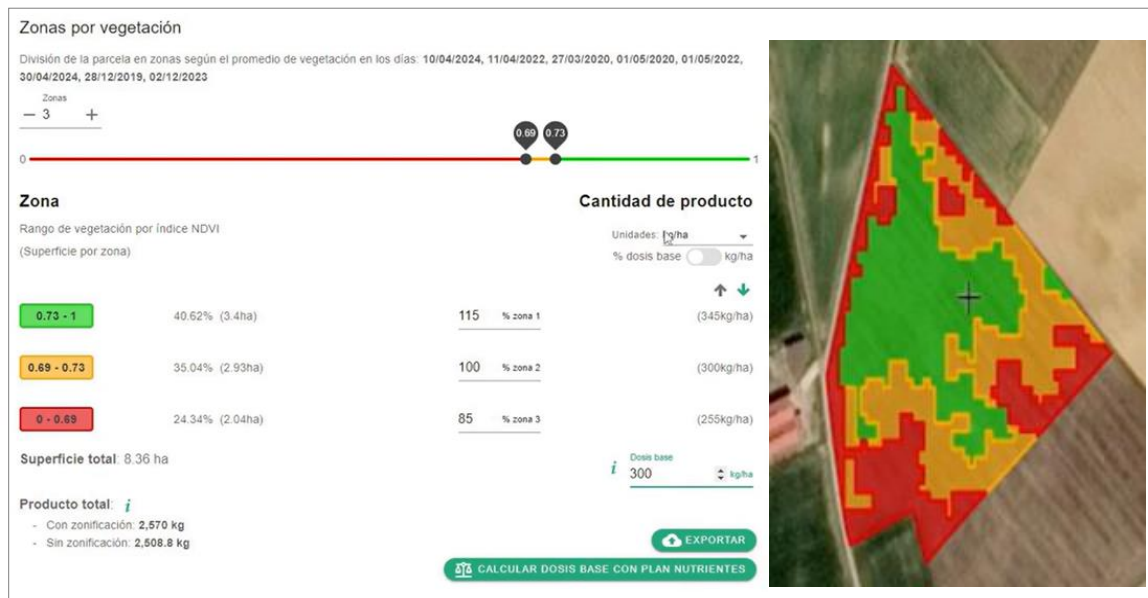


La aplicación ya ha creado tres zonas de dosificación a partir del promedio de las imágenes satelitales de los tres años diferentes.



Este producto ya tiene una **gran consistencia** porque refleja múltiples fechas y condiciones, no solo un año aislado.

A continuación, se puede ajustar la dosis base de fertilizante, que en este caso es de *300 kg por hectárea*. Aunque es posible realizar ajustes adicionales utilizando un plan de nutrientes, en esta ocasión no se llevará a cabo, dejando abierta esta opción para que el usuario explore y experimente según sus necesidades.



Con estas tres zonas creadas, basadas en la imagen promedio de satélites, se procederá a **exportar** el archivo. El formato de exportación será **Shape**, y el tipo de pantalla se seleccionará como **"Otros"**, un formato más genérico. También se podrían elegir formatos específicos de pantallas como John Deere, Case, New Holland, entre otros.

Finalmente, el archivo **zip** generado, que incluye los datos medios de las imágenes satelitales de varias fechas, es el que deberá ser entregado. Este archivo contendrá la zonificación y la dosificación variable, listos para su uso.

