

Interpretar las curvas de NDVI para monitorizar el cultivo: una visión práctica a través de SATIVUM

El uso de imágenes de satélite en la agricultura ya no es una cuestión exclusiva de centros de investigación. Cada vez más comunidades de regantes incorporan datos de teledetección para supervisar el estado de sus cultivos. Así, el **NDVI** (índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), a pesar de ser un índice clásico y de larga trayectoria, sigue siendo de interés por su capacidad para describir la evolución del vigor vegetativo a lo largo de la campaña.

Puede utilizarse sobre una imagen de un día concreto o también, como **curva temporal**, es decir, siguiendo su evolución desde la nascencia hasta la senescencia del cultivo. Esta curva permite interpretar el desarrollo del mismo, pudiendo detectar desviaciones respecto al comportamiento esperado y ayudando a la toma de decisiones. Los valores del índice, muy vinculado a la cantidad de biomasa, relacionan las reflectancias en el rojo y en el infrarrojo, oscilando entre 0 y 1, donde el cero sería el suelo, y el 1 la vegetación en máximo vigor.

Herramientas **gratuitas** como **SATIVUM** (<https://www.sativum.es/>), que ha sido desarrollada por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), hacen posible acceder a estas curvas. El objetivo de este artículo es mostrar cómo interpretarlas y qué tipo de decisiones mejorar gracias a ellas.

1. ¿Qué cuenta una curva NDVI a lo largo de la campaña?

Aunque cada cultivo e incluso la variedad presentan sus propias dinámicas, y hay diferencias entre áreas

geográficas, existen patrones comunes en las curvas NDVI fácilmente reconocibles (figura 1):

Nascencia y establecimiento

En las primeras semanas de crecimiento, el NDVI es reducido. Una curva que tarda en despegar o que presenta valores más bajos respecto a la media de la parcela indicaría una nascencia irregular o tardía, problemas de abonado de fondo o excesos de humedad.

Crecimiento vegetativo

El NDVI sube de forma continua mientras el cultivo va cubriendo el suelo de la parcela, hasta valores cercanos a 0,7-0,8 en cultivos de porte medio. Esta pendiente es útil para evaluar el vigor, de tal manera que el ascenso lento o con oscilaciones podría asociarse a estrés hídrico por fallos en la de cobertura del riego, plagas o enfermedades, o falta de nitrógeno.

Desarrollo máximo

Cuando el cultivo alcanza su máximo desarrollo, la curva entra en una fase de estabilidad en valores altos, donde toma forma de meseta debido a la saturación del NDVI; aunque el cultivo continúe creciendo, los incrementos de biomasa dejan de reflejarse significativamente en los valores del índice. La duración de esta meseta depende del cultivo y del año. Si es demasiado corta o irregular puede indicar restricciones hídricas o que el cultivo no ha alcanzado su potencial esperado y en cultivos forrajeros como la alfalfa, la curva de NDVI muestra caídas abruptas que coinciden con las siegas (cortes), seguidas de rebrotos (ver figura 1).



Figura 1: curva NDVI a lo largo de la campaña: cultivo alfalfa.

Madurez y senescencia

El descenso de la curva indica el inicio del cierre del ciclo, anticipando la cosecha.

2. Cómo ayuda SATIVUM a interpretar estas curvas

SATIVUM integra imágenes Sentinel-2 procesadas, con una frecuencia que varía entre los 2 y los 5 días según el área geográfica, y genera automáticamente las curvas NDVI suavizadas de la parcela, uniendo los puntos que representan cada una de las tomas. En ocasiones, se producen oscilaciones en las curvas debidas a la presencia de nubes en las imágenes. Además, posibilita:

- **Comparación entre campañas:** ver si el desarrollo es más lento o más avanzado que en campañas previas con el mismo cultivo, en una parcela determinada.
- **Comparación entre parcelas** similares con el mismo cultivo: útil para valorar diferencias de manejo, variedades o turnos de riego.
- **Comparación con el promedio** de las parcelas con ese mismo cultivo en la misma zona agroclimática.
- **Comparación intraparcelaria:** cómo se comporta el NDVI dentro de una parcela, para discriminar las mejores zonas, hacer muestreos de campo dirigidos, o incluso generando ficheros de reparto en dosificación variable para agricultura de precisión (ver figura 2).



Figura 2: zonificación de parcela en SATIVUM.

3. Comparando las curvas NDVI

Un mismo cultivo, misma campaña (2024) diferentes zonas de España:

El primero de los gráficos comparativos de la figura 3 muestra las diferencias climáticas y de desarrollo del maíz entre tres zonas regables. En el Páramo leonés

(línea naranja), el inicio del ciclo es más tardío debido a las temperaturas más frías primaverales, con un crecimiento rápido desde junio hasta su máximo desarrollo en julio - agosto, seguido de un descenso pronunciado en otoño. Por su parte, el área de Badajoz (línea morada), con clima mediterráneo continental más cálido, exhibe el ciclo más intenso: crece vigorosamente en a lo largo del mes de junio, alcanza su máximo en julio, y decae rápidamente debido a las altas temperaturas. Finalmente, en la ribera del Ebro entre Navarra y Aragón (línea amarilla), llama la atención la doble cosecha en la parcela, que se observa en forma de dos períodos de desarrollo (primavera y otoño). En este caso, el maíz nace más tarde, crece y se desarrolla durante los meses de agosto y septiembre, alcanzando valores máximos durante el otoño, y manteniéndose activo hasta diciembre, cuando empieza a decaer con el frío.

Una misma zona, misma campaña (2024) diferentes cultivos:

En el segundo de los gráficos de la figura 3, en la zona regable del Arlanzón burgalés, se comparan cuatro cultivos. La cebada (línea morada) exhibe el comportamiento de un cereal de invierno: se siembra en otoño, permanece en estado vegetativo con valores bajos de NDVI, inicia un crecimiento vigoroso en primavera (marzo-abril) alcanzando su máximo desarrollo en mayo - junio, y se cosecha a finales de junio cuando los valores caen bruscamente. El trigo (línea azul) sigue un patrón similar, aunque con un ciclo ligeramente más corto: crece más tarde, con máximos en junio - agosto, manteniéndose activo más tiempo antes de la cosecha. Por otro lado, se muestran dos cultivos típicos del verano: la patata (línea naranja) muestra un ciclo corto y marcado: tras la siembra, presenta un crecimiento lento inicial, alcanza su máximo desarrollo foliar entre junio y septiembre con valores de NDVI relativamente bajos dado que la parte aérea de la planta no cubre la totalidad del suelo de la parcela, y mantiene su actividad hasta la cosecha. Por último, la remolacha (línea amarilla) se siembra en abril, presenta un crecimiento progresivo durante junio y julio y alcanza una larga meseta máxima en agosto que dura hasta noviembre. En la parte final de la campaña, la gráfica se ve influida por la cobertura nubosa típica de esas fechas otoñales; por ello, las tomas de imagen (puntos) están más espaciadas.

4. Aplicaciones prácticas para regantes y comunidades de regantes

Usar las curvas NDVI a través de SATIVUM, posibilita:

- **Visualizar el estado de las parcelas** de una zona

regable, detectando áreas donde la campaña avanza de forma diferente (ciclos adelantados y retrasados), priorizando la asistencia técnica y las visitas de campo o ajustando recomendaciones de riego y fertilización.

- Analizar el **ritmo de crecimiento** de una parcela. Si la curva crece más rápido de lo previsto, puede ser necesario adelantar aportes de agua. Si crece más lento, se podría suprimir un riego innecesario, ahorrando agua y energía.
- Detectar **deficiencias nutricionales**: un crecimiento más lento del esperado podría indicarlo, lo que permitiría ajustar la fertilización en consecuencia.
- Organizar maquinaria y personal, en la **planificación de la cosecha** e incluso predecir los rendimientos. En cereales, el NDVI previo a la caída suele correlacionar bien con el rendimiento final según la literatura científica, de modo que su análisis temprano podría ayudar a estimar producciones.

Hay que tener en cuenta que, aunque el NDVI es eficaz para detectar daños en la vegetación, cuando éstos se manifiestan en los valores del índice, muchas veces **el impacto ya se ha producido**. En contraste, la información térmica es un indicador de respuesta temprana ante el estrés, permitiendo actuar con antelación, antes de que los síntomas sean visibles.

5. Cómo empezar a utilizar SATIVUM

1. **Registrarse y acceder a SATIVUM** desde cualquier dispositivo con acceso a Internet, e introducir las parcelas a monitorizar, una a una o de forma masiva desde el Registro de Explotaciones.

2. **Visualizar la curva NDVI** desde inicio de campaña: el sistema la actualiza con cada nueva imagen que esté libre de nubes.
3. Usar las **herramientas de comparación**.
4. **Interpretar las curvas**, apoyándose en el conocimiento propio o en información auxiliar (datos climáticos de la campaña, mapas de suelo, etc.).
5. En el caso de una Comunidad de Regantes o cooperativa, los técnicos pueden utilizar el **módulo Organizaciones** para gestionar de manera centralizada las parcelas de sus asociados, accediendo a todas las funcionalidades de SATIVUM para monitorizar y tomar decisiones sobre cada una de ellas.

El usuario dispone de videotutoriales para formarse en el uso de la herramienta, en la página web: <https://www.sativum.es/web/sativum/tutorials>

6. Conclusiones: un apoyo a la toma de decisiones

Las curvas NDVI ofrecen una visión completa del desarrollo del cultivo a lo largo de la campaña. Su interpretación no requiere conocimientos avanzados, pero sí se ve enriquecido con la experiencia del usuario y la utilización de las herramientas comparativas; para empezar a usarlo basta con identificar fases, pendientes y anomalías básicas. SATIVUM presenta estas curvas de forma sencilla y orientada a la toma de decisiones, permitiendo grandes posibilidades en su análisis.

Fernández García, L.C. y Nafría García

D. Área de desarrollo tecnológico. Subdirección de Infraestructuras Agrarias. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), asociado de AERYD. sopporte-sativum@itacyl.es

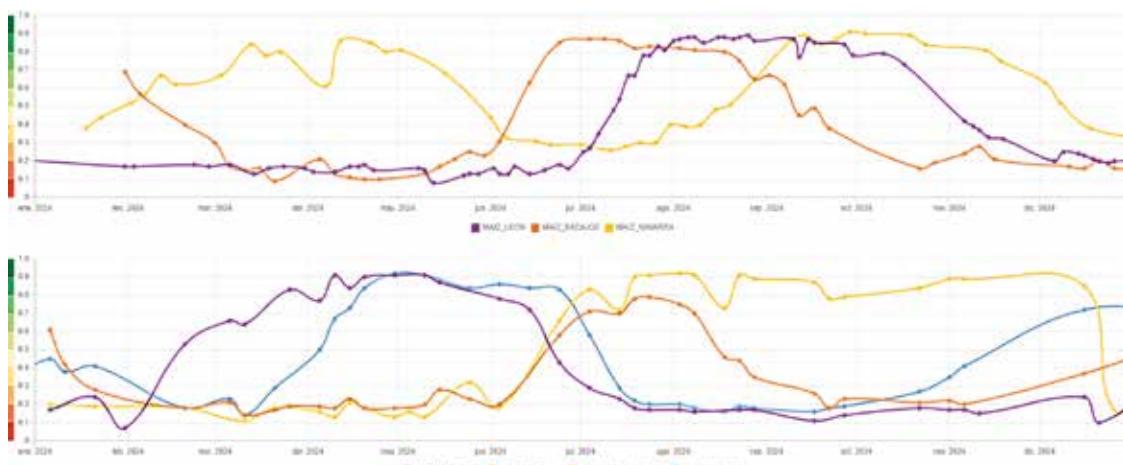


Figura 3: gráficos comparativos del NDVI a lo largo de la campaña: superior, maíz en Páramo leonés, Badajoz y Ribera del Ebro; inferior, cebada, trigo, remolacha y patata en Burgos.