

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/383979088>

El índice fenológico como variable comparativa para clasificar cultivos de gramíneas invernales mediante imágenes satelitales

Technical Report · September 2024

CITATIONS

0

READS

242

3 authors, including:



Fabián Néstor Cabria

Universidad Nacional de Mar del Plata

27 PUBLICATIONS 159 CITATIONS

SEE PROFILE



Pablo Eduardo Abbate

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

189 PUBLICATIONS 1,785 CITATIONS

SEE PROFILE

El índice fenológico como variable comparativa para clasificar cultivos de gramíneas invernales mediante imágenes satelitales

Fabián Néstor Cabria, Mirta Beatriz Calandroni y Pablo Eduardo Abbate

16 de septiembre 2024



El índice fenológico como variable comparativa para clasificar cultivos de gramíneas invernales mediante imágenes satelitales

Autores:

Fabián Néstor Cabria

Mirta Beatriz Calandroni

Pablo Eduardo Abbate

Cultivos de Invierno- informes técnicos de INTA Balcarce
ISSN en línea 2953-5115
Vol. 12, Año 2, 16 de septiembre 2024
Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce
Ruta 226 km 73.5, (CP 7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

Citación recomendada: Cabria F.N, Calandroni M.B. y Abbate P.E. 2024. El índice fenológico como variable comparativa para clasificar cultivos de gramíneas invernales mediante imágenes satelitales. Cultivos de invierno- informes técnicos de INTA Balcarce, 2(12), 7 pp. Documento PDF. Ediciones INTA. ISSN en línea 2953-5115.

*Este libro cuenta con
licencia:*



16 de septiembre 2024

"AÑO DE LA DEFENSA DE LA VIDA, LA LIBERTAD Y LA PROPIEDAD"



**Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria**
Argentina

Estación Experimental
Agropecuaria
Balcarce

El índice fenológico como variable comparativa para clasificar cultivos de gramíneas invernales mediante imágenes satelitales

Fabián Néstor Cabria^{1*}, Mirta Beatriz Calandroni¹, Pablo Eduardo Abbate^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta Nacional 226 km 73.5, 7620, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

² Instituto de Innovación Para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), INTA Balcarce. Ruta Nacional 226 km 73.5, 7620, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

* fcabria@mdp.edu.ar / cabria.fabian@inta.gob.ar

Documento digital, 16 de septiembre de 2024.

Resumen

En esta publicación se da a conocer cómo las firmas fenológicas de cultivos pueden aprovecharse para generar un índice fenológico, el cual, al ser utilizado como variable comparativa, permite diferenciar e identificar coberturas de distintas especies de gramíneas invernales, mediante imágenes satelitales. El objetivo del estudio fue desarrollar un procedimiento para que las clasificaciones no supervisadas puedan diferenciar geográficamente lotes con cultivos de trigo o cebada. Los resultados obtenidos confirman que, en el área de estudio y bajo las condiciones climáticas y de manejo preponderantes, el índice fenológico mejora la capacidad discriminadora de las firmas espectrales presentes en los índices verdes de trigo y cebada, logrando que el algoritmo k-means separe cultivos con coberturas virtualmente similares.

Introducción

Las técnicas de clasificación basadas en algoritmos no supervisados, analizan la variabilidad de los datos en el conjunto de celdas que configura la arquitectura de una imagen digital. El propósito es obtener subconjuntos de píxeles en función de criterios preestablecidos (clases). Al utilizar estos algoritmos de clasificación se asume como criterio para generar los subconjuntos de píxeles, que la similitud dentro de cada clase debe ser mayor que entre píxeles de clases diferentes, lo cual está relacionado con la variabilidad existente entre los elementos que conforman una realidad, como por ejemplo, la cobertura de un paisaje rural. Estas técnicas de clasificación no identifican los elementos representados en cada clase. La identificación de los elementos representados es una actividad que debe realizar el operador con posterioridad a la segregación en clases. Para establecer la identidad, es necesario contrastar las clases que se obtienen con una muestra representativa de los elementos que componen la realidad, es decir, una observación en la que se reconozcan las entidades, por ejemplo, en el paisaje rural, imágenes de lotes que se sepan cultivadas con trigo o cebada por observación directa. Posteriormente, mediante una matriz de confusión, se puede evaluar si la clasificación de los píxeles o celdas de cada clase fue correcta para identificar las entidades.

A partir de lo descrito, se pueden identificar tres etapas en los procedimientos de clasificación no supervisados. La primera, corresponde a la segregación de los píxeles; la segunda, involucra la identificación de los elementos, y la tercera, cuya finalidad es determinar la fiabilidad con que las celdas representan las entidades que se desean identificar.

Los métodos de agrupamiento no paramétricos pueden categorizarse en jerárquicos, particionales y basados en densidad (Pascual et al., 2007). En esta oportunidad se utilizó un algoritmo particional, con el cual se estableció el criterio de diferenciación que se utilizó en el estudio. El algoritmo particional no supervisado elegido se denomina k-means, fue desarrollado por MacQueen (1967) y se caracteriza por ser uno de los más simples. El algoritmo realiza el agrupamiento minimizando la suma de las distancias entre cada objeto y el centroide del grupo o clase. La primera acción a realizar al aplicar el algoritmo, es la división del rango de valores que presentan los datos en tantos intervalos como grupos o subconjuntos (clases) se desean obtener, por lo tanto, para utilizar dicho algoritmo, es necesario que el usuario conozca a priori el número de elementos que deben ser reconocidos. Luego se define un centroide (valor promedio) de cada clase. El algoritmo calcula la distancia entre cada registro de la base de datos y los centroides y asigna el registro a la clase con centroide más cercano. El paso siguiente es calcular un nuevo centroide en cada clase a partir del grupo de píxeles que se conformó, luego de lo cual se calculan las distancias nuevamente y vuelven a asignar los registros a cada clase. El proceso se repite hasta que no hay cambios en los grupos de un paso al siguiente (Pascual et al., 2007). Para lograr un resultado satisfactorio al menos dos factores deben ser considerados, el número de clases que es necesario segregar, el cual se vincula con las distintas entidades que están distribuidas en el área de estudio y la variable a partir de la cual se comparan los elementos que están representados en los píxeles de la escena.

La identificación es la segunda etapa a transitar en el contexto de una clasificación no supervisada, logrando con esta acción determinar si las clases que se segregaron son privativas de alguno de los elementos que conforman la realidad. Finalmente, la autenticidad es una etapa de valoración, donde se establece la exactitud y fiabilidad de la clasificación realizada.

Con respecto a la variable a partir de la cual se comparan los elementos que están representados en los píxeles de una imagen, la factibilidad de utilizar las firmas fenológicas promedio (FFP) de cultivos, fue indagada por Calandroni et al. (2022). Dichos autores utilizaron información remota y censal de cobertura vegetal correspondiente a las campañas agrícolas 2009, 2010, 2011 y 2012 del corredor Tandil – Mar del Plata, caracterizando las FFP de cultivos estivales (soja, maíz, girasol, sorgo y papa), reconociendo los períodos y fechas en que se distinguen estadísticamente las respuestas espectrales implícitas en los índices verdes. El resultado del estudio condujo a concluir que las FFP correspondientes a la zona estudiada permiten discriminar los lotes de los cultivos de verano, por lo cual es útil para describir, comparar y caracterizar el vigor fotosintético de la cubierta vegetal. El estudio también concluyó que es poco probable distinguir a los cultivos sobre la base de las diferencias que se manifiestan en una fecha en particular. No obstante, un aspecto no cubierto por el estudio realizado, es el

relevamiento de los cultivos de invierno, siendo los más difundidos en la zona el trigo pan y la cebada.

El presente trabajo se planificó sobre la base de las conclusiones previamente citadas, con el objetivo de desarrollar un procedimiento para que las clasificaciones no supervisadas de lotes con gramíneas invernales, concretamente trigo o cebada, en el corredor Mar del Plata - Balcarce.

La hipótesis que lo sustenta es que la generación de un índice fenológico a partir de la FFP potencia la capacidad discriminadora implícita en los índices verdes y hace factible clasificar la cobertura vegetal utilizando algoritmos no supervisados.

Materiales y Métodos

Para resolver los objetivos del trabajo se recurrió a la utilización de información remota y censal de cobertura vegetal correspondiente a la campaña agrícola 2018. El espacio territorial que abarcó el estudio comenzó en el sector periurbano de la ciudad de Mar del Plata, extendiéndose hacia el oeste y noroeste por el sector periserrano hasta la ciudad de Balcarce. En este corredor se distinguen a lo largo de 70 km colinas y lomas loessicas en la denominada franja eólica periserrana. El paisaje se compone de cateñas y toposecuencias constituidas por suelos profundos, moderadamente profundos y someros, siendo los suelos mayoritarios Udoles bien drenados.

Con respecto a la cobertura vegetal, los cultivos estudiados fueron trigo y cebada, inspeccionados durante el mes de noviembre del 2018.

La información remota provino de bandas espectrales de imágenes satelitales Sentinel 2 que se capturan con el sensor multiespectral MSI, en días de baja nubosidad. Este sensor está a bordo de dos satélites idénticos, Sentinel A y Sentinel B.

El vigor fotosintético de la biomasa vegetal se estimó mediante el índice de vegetación normalizado (NDVI) y las firmas fenológicas se vincularon con el NDVI evaluado el NDVI en ocho fechas entre julio y diciembre:

$$NDVI = \frac{IR \text{ cercano} - Rojo}{IR \text{ cercano} + Rojo}$$

donde Rojo e IR cercano (infrarrojo cercano) son la reflexión de la radiación de longitudes de onda de 665 nm (banda 4 del Sentinel 2) y 842 nm (banda 8) respectivamente (Sentinel-2 User Handbook, 2015).

A continuación, se listan los pasos seguidos en el procedimiento clasificatorio utilizado.

1. Elección y acondicionamiento de las imágenes capturadas por los satélites Sentinel 2.

2. Cálculo del NDVI a partir de las bandas 4 y 8 capturadas por el sensor de los satélites Sentinel 2.
3. Composición de las firmas fenológicas a partir del NDVI proveniente de las secuencias de imágenes acondicionadas.
4. Cálculo del índice fenológico.
5. Primera diferenciación de clases haciendo uso del algoritmo k-means utilizando la imagen del índice fenológico. Se generaron 10 clases.
6. Identificación de clases donde las celdas estarían representando la cobertura de trigo o cebada según la inspección directa realizada.
7. Retención de clases vinculadas a posible cobertura de trigo o cebada.
8. Segunda diferenciación haciendo uso del algoritmo k-means utilizando la imagen del índice fenológico a partir de las clases presuntamente vinculadas a coberturas de trigo o cebada. Se generaron dos clases.
9. Identificación y homogenización de las clases vinculadas a coberturas de cada uno de los cultivos (uso de la verdad terrestre).
10. Obtención de la matriz de confusión.

Resultados y discusión

Las firmas fenológicas de lotes cultivados con trigo o cebada se presentan en la Fig. 1. Las trayectorias de las mismas dan cuenta que hasta principios de octubre el NDVI en el cultivo de cebada supera al de trigo, y que hacia mediados de dicho mes se equiparan y se mantienen similares por el término de 15 días. A principios de diciembre la relación se invierte distanciándose los NDVI por la caída abrupta en cebada y la continuidad elevada del NDVI en el trigo.

En función de lo sucedido durante el período analizado, es factible aprovechar la relación entre bandas con valores NDVI para generar una variable y discriminar el trigo de la cebada, a la cual denominamos índice fenológico (IF).

$$IF = \frac{NDVI_i - NDVI_f}{NDVI_i + NDVI_f}$$

donde: $NDVI_i$ es el valor del NDVI al comienzo del período en que se maximiza el NDVI (fecha 5, Fig. 1); $NDVI_f$ es el valor del NDVI hacia la finalización del ciclo fenológico de los cultivos, donde el NDVI de la cebada tiende a alcanzar el mínimo y el de trigo permanece aún elevado (fecha 8, Fig. 1).

Los valores del IF varían de -1 a 1, y dadas las magnitudes que adquiere en cada cultivo $NDVI_i$ y $NDVI_f$, es posible identificar las coberturas vegetales de los respectivos cultivos. En función de los valores de NDVI presentados en la Fig. 1, se puede prever que cuanto más se aproxima el IF al límite máximo (1), es altamente probable que la cobertura vegetal se corresponda a la de un cultivar de cebada. En cambio, los valores positivos o negativos que circundan al cero es probable que identifiquen lotes donde se sembró trigo.

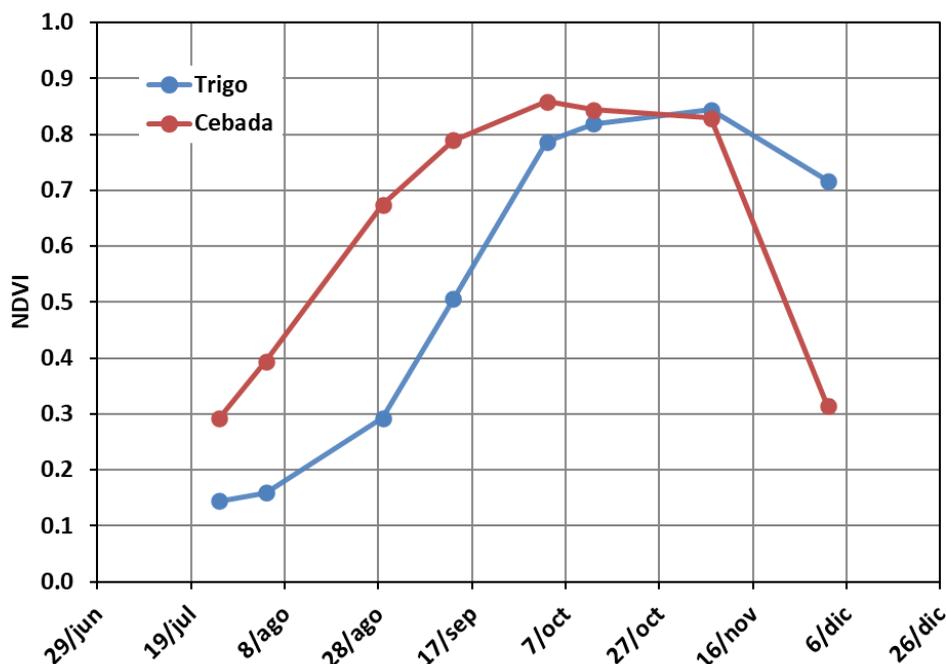


Figura 1. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) promedio para trigo y cebada, en ocho fechas de evaluación, en el corredor Mar del Plata - Balcarce, durante la campaña agrícola 2018.

Tabla 1. Coeficiente kappa y precisión general para el procedimiento clasificatorio de lotes de trigo y cebada, en el corredor Mar del Plata - Balcarce, durante la campaña agrícola 2018.

Nombre	Valor
Kappa	0.92
Precisión general	0.96

Tabla 2. Matriz de confusión para el procedimiento clasificatorio de lotes de trigo y cebada, en el corredor Mar del Plata - Balcarce, durante la campaña agrícola 2018.

Clase	Trigo	Cebada	Exactitud del usuario	Precisión del usuario
1. Trigo	7738	165	7903	97.9
2. Cebada	370	4978	5348	93.1
3. Sin clasificar	314	7	---	---
Exactitud del productor	8108	5143	---	---
Precisión del productor	95.4	96.8	---	---

Realizado el procedimiento clasificatorio se procedió a evaluar los resultados obtenidos a partir del coeficiente Kappa (Tabla 1) y la matriz de confusión (Tabla 2). La Tabla 1 muestra que tanto el coeficiente Kappa como la precisión del procedimiento clasificato-

rio fueron altos, superando el 90% en ambos casos. Por su parte, la matriz de confusión muestra que la precisión en clasificación de trigo y cebada fue superior al 90%, al igual que la precisión del usuario. Estos resultados indican que el uso del IF para discriminar lotes de trigo y cebada fue altamente exitoso, si bien resta validar el procedimiento en un mayor rango de condiciones climáticas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos no permiten rechazar la hipótesis a partir de la cual se sustenta el ensayo. Puede aseverarse que bajo las condiciones climáticas y de manejo preponderantes en el corredor Mar del Plata - Balcarce, el IF potenció la capacidad discriminadora de las firmas espectrales implícitas en los índices NDVI. Gracias a esto, con el algoritmo k-means se pudieron caracterizar firmas fenológicas promedio y separar coberturas de dos cultivos de invierno, trigo y cebada. Resta validar el procedimiento en un mayor rango de condiciones climáticas.

Bibliografía

Calandroni, M.B.; F.R. Jaimes; D.K. Zelaya; F.N. Cabria. 2022. *Caracterización de firmas fenológicas promedio de cultivos. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18 de noviembre de. 2022.* CABA.

MacQueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability/University of California Press. 1967.*

Pascual, D.; F. Pla; y S. Sánchez. 2007. *Algoritmos de agrupamiento. Métodos Informáticos Avanzados, 164-174.*

Sentinel-2 User Handbook. 2015. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.

CULTIVOS DE INVIERNO

En esta publicación se da a conocer cómo las firmas fenológicas de cultivos pueden aprovecharse para generar un índice fenológico, el cual, al ser utilizado como variable comparativa, permite diferenciar e identificar coberturas de distintas especies de gramíneas invernales, mediante imágenes satelitales. El objetivo del estudio fue desarrollar un procedimiento para que las clasificaciones no supervisadas puedan diferenciar geográficamente lotes con cultivos de trigo o cebada. Los resultados obtenidos confirman que, en el área de estudio y bajo las condiciones climáticas y de manejo preponderantes, el índice fenológico mejora la capacidad discriminadora de las firmas espectrales presentes en los índices verdes de trigo y cebada, logrando que el algoritmo k-means separe cultivos con coberturas virtualmente similares.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca