

ISSN 2469-164X · Vol. 10. N° 41, Diciembre 2022 | Pergamino, Bs. As., Argentina

RITA

REVISTA DE
TECNOLOGÍA
AGROPECUARIA

TEC
NO
LO
GÍ
A
GRO
PE
CUA
RIA



INTA | Ediciones

STAFF

Editor Responsable:

Dr. (MSci) Ing. Agr. Horacio Acciaresi

Comité Editor:

Dra (MSci) Ing. Agr. Silvina B. Restovich
Dra (MSci) Ing. Agr. Raquel A. Defacio
Dra (MSci) Ing. Agr. Silvina M. Cabrini
Méd. Vet. Virginia Fain Binda
Dr. (MSci) Ing. Agr. Alfredo G. Cirilo
Ing. Agr. (MSci) Javier Elisei
Ing. Agr. (MSci) José A. Llovet
Dr. (MSci) Ing. Agr. Juan Mattera

Diseño y Edición:

Lic. DG. Georgina Giannon

Portada:

Fotografía de Luciano Bissone.
Primer premio del concurso
fotográfico realizado por los
110 años de la EEA Pergamino

Director EEA Pergamino:

Ing. Agr. (MSci.) Ignacio Terrile

Director del Centro Regional Buenos Aires Norte:

Ing. Agr. Hernán Trebino

DATOS EDITORIALES

Vol. 10. N° 41
Diciembre 2022.
Pergamino, Bs. As., Argentina
Registro DNDA N° 19.036
ISSN Edición impresa 0328-7750
ISSN Digital 2469-164X

Estación Experimental Agropecuaria
INTA Pergamino - Buenos Aires
Av. Frondizi (Ruta Prov. 32) km. 4,5
2700 - Pergamino
Tel.: 02477 439 026
<http://inta.gov.ar/pergamino>
eeapergamino.rta@inta.gov.ar



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina

Esta publicación es propiedad del Instituto Nacional
de Tecnología Agropecuaria. RP 32, km. 4,5.
Pergamino. Buenos Aires, Argentina.

SUMARIO

5

Respuesta a la fertilización en soja según variedad, grupo de madurez y año climático

Gustavo Ferraris y Fernando
Mousegne.

11

Efecto de la densidad de siembra sobre el establecimiento de festuca alta

Cristian Cuervo, Ezequiel
Pacente, Guadalupe Tellería
y Omar Scheneiter.

16

Ensayo comparativo de rendimiento de maíz en tres densidades de siembra. Campaña 2021/2022

Fernando Mousegne, Fernando
Jecke y María Cecilia Paolilli.

22

Cultivos de cobertura: incidencia en el impacto ambiental, uso de herbicidas y productividad de grano

María Victoria Buratovich
y Horacio Abel Acciaresi.

27

Análisis de materia orgánica en suelos por espectroscopia de infrarrojo cercano

Ana María Di Martino y Leticia
Soledad García.

32

Estrategias de relevo generacional en empresas familiares del agro pampeano

María Cecilia Paolilli, Carlos
Pablo Calcaterra y Héctor
Gabriel Varela.

38

Implementación de herramientas de fenotipado de alto rendimiento para evaluar el marchitamiento por *Verticilliumdahliae* en girasol

Matías Domínguez,
Juan F. Montecchia, Salvador
Nicosia, Paula Fernández,
Carolina Troglia, J. González
y Norma Paniego.

44

Verificación de una metodología analítica para cuantificación de fósforo total por espectrofotometría

Julietta Chale, Bernardo Christe-
ler y María Soledad Moro.

49

Supresión de la emergencia de malezas con distintos rastrajes de cultivos

Gabriel Picapietra y Horacio
Abel Acciaresi.

55

Efecto del pastoreo de cultivos de cobertura sobre el carbono, nitrógeno y fósforo del suelo

Silvina Beatriz Restovich, D.
C. Hortis, Ana Paula Giannini,
Omar Scheneiter, Juan Mattera
y Ezequiel Pacente.

60

XII Congreso Nacional de Maíz Abordaje general y ejes temáticos

Alfredo Cirilo, Roberto Lorea
y María Rossini.

63

XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

Manuel Ferrari y Alicia Irizar.

Editorial

Estimados Lectores:

Luego de haber transitado difíciles momentos marcados por la pandemia, la Revista de Tecnología Agropecuaria vuelve a editar un nuevo número. Esta producción gráfica incluye la publicación de trabajos que resultan de las acciones en diversas temáticas que se abordan en la EEA Pergamino.

Durante este 2022 la EEA Pergamino cumple 110 años en funciones. Durante este fecundo tiempo se ha generado y transferido información y conocimiento de relevancia al sector agroindustrial, agroalimentario y agrobiológico. La Revista de Tecnología Agropecuaria, desde sus inicios, ha sido siempre una herramienta fundamental para dar a conocer y transmitir los resultados de las experiencias logradas en la unidad.

Esta edición viene acompañada de cambios en el comité editorial como así también de formato para adaptarnos a las nuevas demandas y herramientas disponibles al momento de lograr una difusión y llegada a los lectores que encuentran en esta revista fuente de información técnica de calidad.

Las temáticas abordadas en los trabajos incluidos en este número evidencian lo amplio y diverso de las líneas de investigación y desarrollo como así también estrategias de extensión y transferencias que se abordan en la EEA Pergamino. Los documentos tienen como objetivo reflejar las acciones que se llevan adelante para atender los problemas, resolver conflictos y aprovechar las oportunidades para promover el desarrollo y crecimiento del territorio donde se asienta la unidad.

Finalmente, mi agradecimiento a todos los que han sido partícipes de cada una de las ediciones, desde los inicios hasta los actuales ya que sin sus aportes no se lograría nada de lo que aquí pueden encontrar.

Ing. Agr. (MSci.) Ignacio Terrile
Director EEA INTA Pergamino

07

Implementación de herramientas de fenotipado de alto rendimiento para evaluar el marchitamiento por *Verticillium dahliae* en girasol

**MATÍAS DOMÍNGUEZ^{1,*},
JUAN F. MONTECCHIA²,
SALVADOR NICOSIA²,
PAULA FERNÁNDEZ²,
CAROLINA TROGLIA³,
J. GONZÁLEZ Y NORMA
PANIEGO².**

¹ INTA EEA Pergamino;

² INTA IABiMo Castelar;

³ INTA EEA Balcarce

* dominguez.matias@inta.gov.ar

El Marchitamiento causado por *Verticillium dahliae* (MV) es la enfermedad más prevalente del cultivo de girasol en Argentina. Esta afecta el 50% de la superficie sembrada anualmente con el cultivo. La resistencia genética a MV es la herramienta de manejo más efectiva para su control. Las plataformas de teledetección con drones, propician su inclusión en proyectos de investigación aplicada en mejoramiento genético para el fenotipado de alto rendimiento.

Palabras clave: Mejoramiento genético, Drones, Enfermedades.

Introducción

El hongo *Verticillium dahliae* infecta la planta a través de las raíces y coloniza su sistema vascular, bloqueando el flujo de agua e induciendo finalmente los síntomas de marchitez (Van Alfen, 1989). Este daño da lugar a una reducción significativa de la tasa de transpiración de las hojas, lo que finalmente conduce a la clorosis y defoliación de las mismas, provocando un cambio de reflectancia espectral (Hillnhütter *et al.*, 2010). El contenido de clorofila tiende

a disminuir en las plantas infectadas, mostrando una menor reflectancia en las regiones visible verde (550 nm) y roja (650-720 nm). Las plantas estresadas también muestran una reducción en la densidad del canopy y en el área foliar que lleva a una disminución de la reflectancia espectral en el rango infrarrojo cercano (680-800 nm). Además, la región del infrarrojo térmico (8000-15.000 nm) es muy adecuada para la detección de la infección por *V. dahliae* debido a la disminución de la tasa de transpiración que induce el cierre de los estomas, reduciendo el enfriamiento por evaporación y aumentando la temperatura del canopy. Teniendo en cuenta estos cambios en el espectro de las plantas infectadas, los síntomas de la enfermedad podrían detectarse a distancia en las regiones del espectro visible, del rojo lejano, el infrarrojo cercano y la región del infrarrojo térmico (Calderón *et al.*, 2015).

Las plataformas de teledetección de vehículos aéreos no tripulados (UAV-RSP de sus siglas en inglés *Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Platforms*) conocidos popularmente como "drones" se caracterizan por su flexibilidad, bajo costo y su baja altura de vuelo y los convierte en una herramienta de gran importancia y versatilidad para el fenotipado de cultivos (Liebisch *et al.*, 2015) y la agricultura de precisión (Zhang & Kovacs, 2012). Estas plataformas permiten combinar sensores, registrar imágenes de alta resolución, son flexibles para monitorear varios ensayos con regularidad y un gran número de parcelas simultáneamente.

En este trabajo se presenta la implementación de índices de vegetación obtenidos a partir de una cámara multispectral para el fenotipado de MV en una población multiparental de mapeo genético de girasol.

Materiales y métodos

Una selección de 349 familias F2 de la población MAGIC2 de girasol de INTA y sus 8 líneas parentales fueron caracterizadas fenotípicamente para su respuesta frente a MV en el infectario natural de la EEA INTA Balcarce (37° 50' 0" S, 58° 15' 33" O, Buenos Aires, Argentina) (figura 1).

El diseño experimental fue de tipo *Alpha Lattice* en dos repeticiones y se utilizó un control interno susceptible para poder relevar la carga patogénica del infectario. La fecha de siembra fue el 9 de noviembre de 2020. La siembra se realizó de forma manual sobre

los surcos previamente marcados a 0.7 m con una sembradora, mediante el uso de "escopeta" y golpes de 2 semillas cada 20 cm para alcanzar una densidad de 5 plantas por metro lineal. Las unidades experimentales consistieron en un surco de 5 m de largo.

La evaluación de la MV se realizó a nivel de planta individual, registrándose dos variables fitopatológicas, la Incidencia (INC) y la Severidad (SEV). La INC representa la sumatoria de plantas sintomáticas sobre el total de plantas por parcela. La SEV se estimó usando una escala ordinal de 6 niveles de (0 a 5) siendo el



Figura 1. Fotografía panorámica aérea del ensayo realizado en la EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

valor "0" = Planta sana, "1" = Estrato basal sintomático (~20% de la parte aérea), "2" = Síntomas hasta por debajo del estrato medio de la planta (20 - 40% de la planta), "3" = Síntomas en la zona media de la planta (40-60%), "4" = Síntomas en estratos superiores y el "5" = Planta marchita o sintomática en todos sus estratos. Para la captura de las imágenes se realizó un vuelo el día 28 de enero de 2021 (coincidente con evaluación manual) a las 12:00 hs. AM para minimizar la variación en la iluminación y el ángulo cenital solar (Gu *et al.*, 1992). Las condiciones climáticas fueron de cielo despejado con una velocidad del viento menor a 10 km/h y una temperatura de 30,8°C, las cuales permitieron no tener distorsión en las imágenes. Se utilizó un vehículo aéreo no tripulado Drone Parrot Disco-Pro Ag. La altura de vuelo fue de 50 m. Las imágenes fueron capturadas con un sensor multi-espectral Parrot Sequoia con 4 bandas espectrales en el Verde (550nm \pm 40nm), Rojo (660nm \pm 40nm), Rojo lejano (735nm \pm 10nm) e Infrarrojo cercano (790nm \pm 40nm). Los espectros medios de reflectancia calculados para las cuatro bandas espectrales obtenidas se utilizaron para calcular los índices espectrales NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NWVI (*Normalized Water Vegetation Index*), OSAVI (*Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index*) y LCI (*Leaf Chlorophyll Index*) con la implementación del software Pix4D Mapper. La extracción de la información obtenida a nivel de parcela fue realizada con

el software QGIS versión 3.16. Fueron desarrollados cinco modelos predictivos de *Machine Learning* (ML): *Extreme Gradient Boosting* (XGB), *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Support Vector Machine* (SVM), árboles de clasificación (CART) y *Random Forest* (RF) con el propósito de poder clasificar parcelas de girasol como tolerantes o susceptibles en función de la información espectral. Para la elaboración de los modelos predictivos se implementaron los cuatro índices de vegetación mencionados anteriormente. La evaluación y comparación de los modelos fue realizada a partir de la precisión alcanzada por cada uno de estos, definiéndose como el número de predicciones correctas sobre el número total de predicciones.

Resultados

El fenotipado manual realizado sobre el experimento permitió clasificar a las parcelas en dos grandes grupos de acuerdo a su respuesta frente a MV. Fueron definidas como tolerantes, aquellas parcelas que tuvieran un valor de severidad media menor a 3, y como susceptibles las que tuvieran un valor de severidad media mayor a 3. El 45,18 % de las parcelas fueron clasificadas como susceptibles y el 54,82 % fueron clasificadas como tolerantes.

La comparación del desempeño alcanzado por los 5 modelos evaluados fue realizada implementando la metodología de validación cruzada (particionando los datos en dos conjuntos, de entrenamiento y de prueba) y utilizando los datos obtenidos de la

evaluación fenotípica manual se estimó la precisión en la predicción de la clase fenotípica obtenida de cada uno de los modelos propuestos. En la figura 2 se muestra la precisión media y la dispersión obtenida para cada uno de los modelos entrenados.

El modelo XGB fue el que obtuvo una precisión media más alta y el que menor varianza presentó durante el proceso de validación. En orden de precisión, en segundo lugar se ubicó el modelo LDA y el de menor valor fue el modelo fue el RF. Asimismo, la precisión fue estimada en los conjuntos de entrenamiento y de prueba para tener una medida del sobreajuste (*overfitting*) de los modelos. Los resultados se muestran en la tabla 1.

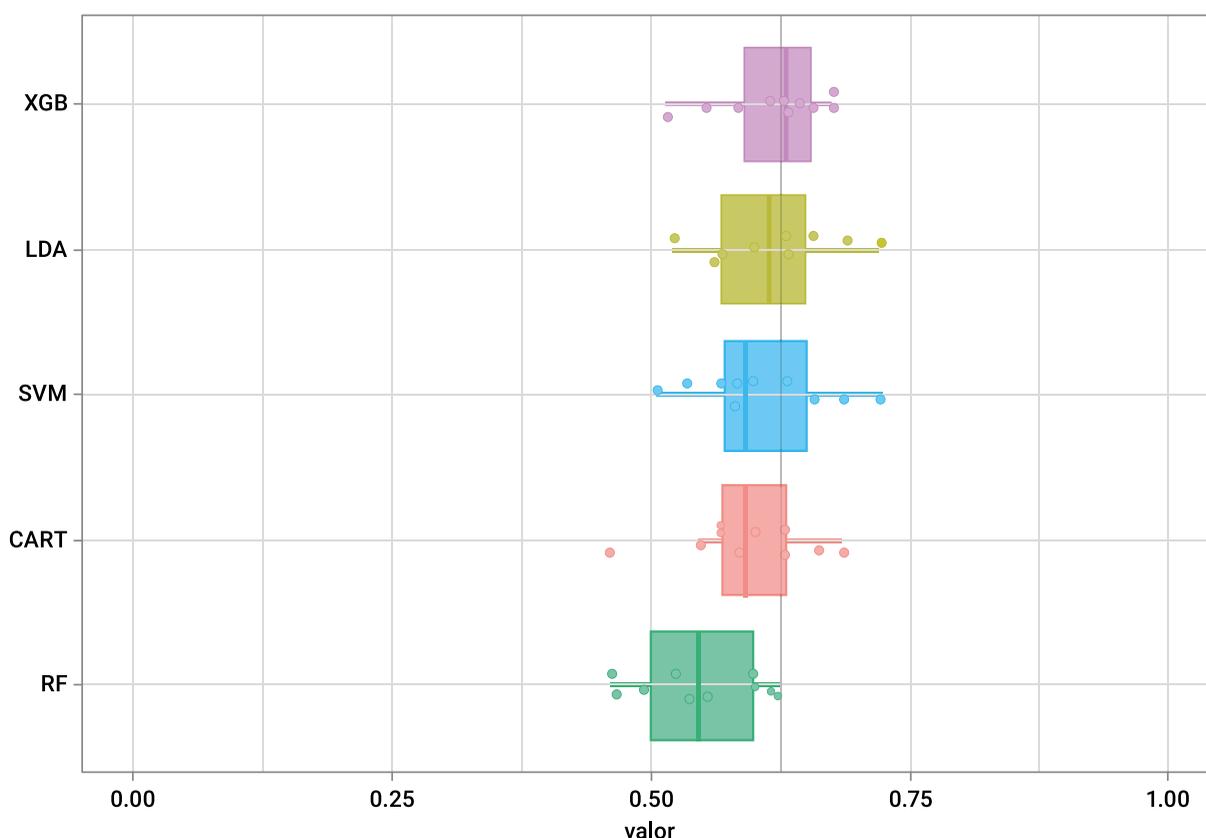


Figura 2. Precisión obtenida en el entrenamiento de los distintos modelos por el método de validación cruzada.

Los modelos XGB y CART alcanzaron los valores más altos en la matriz de prueba, y no mostraron diferencias con respecto a la precisión obtenida en la

matriz de entrenamiento. En tanto que el modelo RF mostró una amplia diferencia en la precisión obtenida para los dos conjuntos de datos, evidenciando un

claro sobreajuste de este modelo. En relación a la precisión obtenida dentro de las clases, esta fue del 70% para los genotipos tolerantes y del 55% para los genotipos susceptibles. Los valores de predicción obtenidos resultan muy interesantes para esta primera

evaluación de la técnica y con su puesta a punto en próximos ensayos podrá ser considerada como una herramienta que complemente al fenotipado manual y de soporte al programa de mejoramiento.

Tabla 1. Precisión alcanzada por los 4 modelos predictivos evaluados.

Modelo	Precisión en el conjunto de entrenamiento (%)	Precisión en el conjunto de prueba (%)
CART	63,90	62,30
RF	100	59,26
SVM	65,18	53,70
LDA	62,54	62,02
XGB	63,27	63,12

Conclusión

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron el potencial que tiene la implementación de índices de vegetación para el fenotipado automático de la Marchitez prematura por *V. dahliae* en girasol y la utilización de modelos que permiten en base a la información aportada por los índices espectrales, poder clasificar genotipos de girasol como tolerantes o susceptibles a la enfermedad. La implementación de una plataforma de fenotipado de alto caudal por medio de drones para la caracterización de poblaciones de gran tamaño con menor demanda de recursos y tiempo resulta promisorio e incentivador en relación a los resultados alcanzados. La mayor ventaja que presenta esta tecnología, es la rápida adquisición de datos para un elevado número de parcelas. Un análisis profundo de los costos de esta metodología y su comparación con el fenotipado manual resulta fundamental para que sea posible su adopción por los programas de mejoramiento, en proyectos de investigación y también a nivel productivo para el diagnóstico de epifitias. Se continuará con las evaluaciones en los

próximos años, para poder generar un mayor volumen de datos que permita evaluar otras técnicas y otras variables, con el objetivo de obtener mayores valores de precisión por los modelos generados y poder incorporar esta tecnología como una práctica rutinaria en el programa de mejoramiento de girasol de INTA.

Bibliografía

Calderón, R., Navas-Cortés, J., & Zarco-Tejada, P. (2015). *Early detection and quantification of verticillium wilt in olive using hyperspectral and thermal imagery over large areas*. *Remote Sensing*, 7(5), 5584–5610. <https://doi.org/10.3390/rs70505584>.

Hillnhütter, C., Schweizer, A., Kühnhold, V., & Sikora, R. (2010). *Remote sensing for the detection of soil-borne plant parasitic nematodes and fungal pathogens*. En E. Oerke, C. Gerhards, & R. Menz (Eds.), *Precision Crop Protection - The Challenge and Use of Heterogeneity* (pp. 151–165). Springer.

Liebisch, F., Kirchgessner, N., Schneider, D., Walter, A., & Hund, A. (2015). *Remote, aerial phenotyping of maize traits with a mobile multi-sensor approach*. *Plant Methods*, 11(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0048-8>.

Van Alfen, N. (1989). *Reassessment of plant wilt toxins*. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 27, 533–550.

Zhang, C., & Kovacs, J. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review*. In *Precision Agriculture* (Vol. 13, Issue 6, pp. 693–712). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>.