

## **CUANTIFICACIÓN DE LAS INFESTACIONES DE AVENA LOCA (*Avena sterilis* L.) EN TRIGO (*Triticum durum* L.) MEDIANTE TELEDETECCIÓN**

D. Gómez-Candón<sup>1</sup>, L. García-Torres<sup>1</sup>, J.J. Caballero-Novella<sup>1</sup>, M. Gómez-Casero<sup>1</sup>, J.M. Peña-Barragán<sup>1</sup>, M. Jurado-Expósito<sup>1</sup>, F. López-Granados<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Agricultura Sostenible, IAS- CSIC, 14004-Córdoba, España.

e-mail: [lgarciatorres@ias.csic.es](mailto:lgarciatorres@ias.csic.es); <http://www.ias.csic.es/precisionmalherbologia/>

**Resumen:** Se describen trabajos llevados a cabo para la discriminación y cuantificación de rodales de avena en trigo en fase tardía del cultivo y posterior elaboración de un mapa de tratamiento herbicidas aplicables en años posteriores. Consistieron en visitas al terreno, toma de imágenes remotas multiespectrales (BGRNir), y procesado de éstas utilizando el software ENVI<sup>®</sup> provisto de un "add-on" específico para agricultura de precisión (SARI<sup>®</sup>). Este módulo proporciona un mapa de tratamiento herbicidas potenciales adaptativo a los criterios de aplicación herbicida que se establezcan.

**Palabras clave:** agricultura de precisión, especies gramíneas, software SARI<sup>®</sup>, aplicaciones a dosis variables.

### **INTRODUCCIÓN**

Las infestaciones de avena loca (*Avena sterilis* L. AVEST) son muy comunes en los cultivos de cereales de invierno y se encuentran en el 65% de los campos cultivados en Andalucía (SAAVEDRA *et al.*, 1989). La agricultura de precisión trata de determinar y manejar la distribución espacial de factores bióticos, tales como malas hierbas y patógenos, y de factores abióticos, tales como el contenido de nutrientes o de agua en el cultivo, y así fundamentar la aplicación de determinados inputs (herbicidas, fungicidas, fertilizantes) a dosis variables, ajustados a las necesidades de pequeñas aéreas o micro-parcelas. El objetivo de este trabajo es describir brevemente la discriminación de rodales de avena loca en el cultivo de trigo mediante imágenes remotas multiespectrales y su manejo de precisión mediante el software SARI<sup>®</sup> (*Sectioning and Assessment of Remote Images*), un módulo complementario de ENVI<sup>®</sup> que divide y cuantifica la imagen de una parcela en micro-imágenes (micro-parcelas), y que ha sido descrito previamente (GARCÍA-TORRES *et al.*, 2008).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los trabajos de campo y la toma de imágenes multiespectrales se llevaron a cabo en diversas localidades de Andalucía donde previamente se habían seleccionado campos de trigo con infestaciones naturales de *A. sterilis*. Las imágenes se tomaron desde aviones convencionales a unos 1500 m sobre el suelo. Las imágenes estaban provistas de las bandas espectrales azul (B), verde (G), roja (R), e infra-rojo cercano (Nir), con un tamaño de píxel de 1 × 1 m. Los datos “verdad-terreno” y las imágenes remotas se tomaron sobre el 10 de mayo de 2005, cuando el cultivo de trigo estaba en fase inicial de desecación, y por consiguiente de color verdoso-amarillo y la avena loca todavía en fase de fructificación avanzada y por consiguiente verde intenso. La discriminación de los rodales de avena se basó precisamente en su mayor capacidad de reflectancia en relación el resto del cultivo de trigo. En cada localidad se tomaron datos “verdad-terreno” geo-referenciados rodales infestados y no infestados de avena loca, y luego proyectándolos en las imágenes. En el procesamiento de imágenes esta discriminación se llevó a cabo utilizando el índice de verdor NDVI [ $NDVI = (Nir - R)/(Nir + R)$ ], mediante una clasificación supervisada basada en los datos verdad-terreno geo-referenciados. Así se determinaron los valores digitales frontera (VDF) entre zonas infestadas y no infestadas, y la exactitud estadística de la clasificación (aprox. 0,88-0,96% según localidades). Estos trabajos se describen en detalle en LÓPEZ-GRANADOS *et al.*, (2006). Luego, para su aplicación en agricultura de precisión se aplicó el módulo SARI para la división de la parcela estudiada en “micro-parcelas” de 20 m x 13 m, y cuantificación automática de la infestación en cada una de éstas. El mapa de aplicación de herbicida se diseñó con el criterio de efectuar aplicaciones en micro-parcelas con un área infestada por *A. sterilis* superior al 11%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La infestación de *A. sterilis* varió muy considerablemente en el cultivo estudiado (Figura 1a), discriminándose diversas intensidades de infestación, desde “micro-parcelas” exentas de infestación a “micro-parcelas” totalmente destruidas. Las imágenes en color y la transformada correspondiente al índice vegetativo NDVI se indican en las Figuras 1b y 1c respectivamente.

Correlacionando los datos sobre el terreno y el proceso de imágenes mediante ENVI-SARI se obtienen valores cuantitativos de la infestación de cada micro-parcela (Figura 2), así como un mapa geo-referenciado de tratamientos herbicidas potenciales a dosis variables (Figura 1d). El proceso de imágenes mediante ENVI-SARI permitió obtener valores cuantitativos de la infestación de cada micro-parcela diseñada de 20 m x 13 m (Figura 2), así como un mapa geo-referenciado de tratamientos herbicidas potenciales a dosis variables a aplicar en años sucesivos (Figura 1d).

## COMENTARIOS FINALES

Se ha descrito una metodología para discriminar mediante teledetección las infestaciones de *A. sterilis* en fases avanzadas de desarrollo del cultivo del trigo, seccionar la imagen de la parcela en micro-imágenes correspondientes a micro-parcelas y cuantificar la

infestación de cada una de ellas. Dicha metodología permite mapear la intensidad de infestación, predecir en gran medida las infestaciones que pueden aparecer en años venideros y diseñar tratamientos herbicidas a dosis variables, que podrían ser aplicables dada la estabilidad espacial y temporal de los rodales.

El módulo SARI® (“add-on” de ENVI) se ha mostrado ser una herramienta útil para seccionar la imágenes remotas en micro-imágenes correspondientes a micro-parcelas y así caracterizar las características agro-ambientales de éstas, cualquiera que sea el tamaño de la parcela original y de las micro-imágenes que se diseñen.

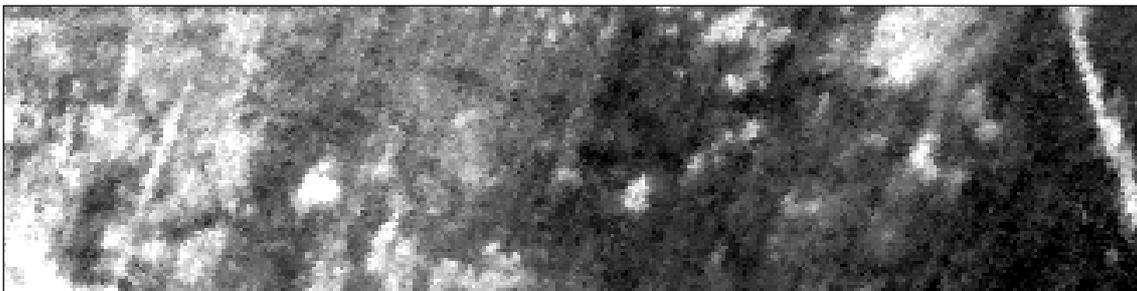
a)



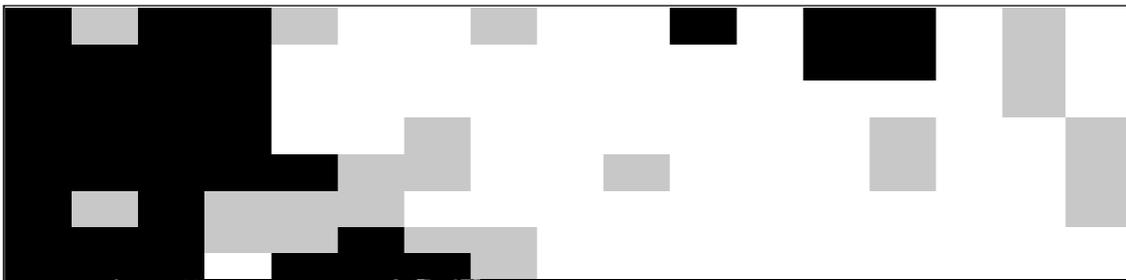
b)



c)



d)



**Figura 1.-** Campo de trigo infestado de *A. sterilis* en Navajas (Santa Cruz, Córdoba): a) Imagen tomada desde el terreno; b) Imagen remota multiespectral BGRNir, c) Imagen transformada NDVI: el área blanquecina corresponde a las zonas infestadas (NDVI, 0,16-0,55) y la de colores oscuros a las no infestadas; d) Mapa de prescripción de herbicida diseñado por SARI: criterio de aplicación del herbicida: para cada micro-parcela de 20 x 13 m, dosis recomendada (> 26% de píxeles infestados, color negro), dosis intermedia (>11% y <26% píxeles infestados, color celeste-grisáceo) y sin aplicación herbicida (color blanco).

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado en parte a través de los proyectos AGL2007-60926 (FEDER) y AGL2010-15506 (FEDER).

| AG   | X         | Y          | NPAG | VDAG | VDAG/NPAG | No. | %    | Class |
|------|-----------|------------|------|------|-----------|-----|------|-------|
| AG1  | 360882.38 | 4185305.75 | 260  | 1.87 | 0.01      | 4   | 1.54 | 1     |
| AG2  | 360899.34 | 4185316.25 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG3  | 360916.31 | 4185326.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG4  | 360933.25 | 4185337.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG5  | 360950.22 | 4185348.00 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG6  | 360967.19 | 4185358.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG7  | 360984.16 | 4185369.25 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG8  | 361001.09 | 4185379.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG9  | 361018.06 | 4185390.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG10 | 361035.03 | 4185401.00 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG11 | 361052.00 | 4185411.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG12 | 361068.94 | 4185422.25 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG13 | 361085.91 | 4185432.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG14 | 361096.50 | 4185439.50 | 65   | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG15 | 360889.28 | 4185294.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG16 | 360906.22 | 4185305.25 | 260  | 1.49 | 0.01      | 3   | 1.15 | 1     |
| AG17 | 360923.19 | 4185315.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG18 | 360940.16 | 4185326.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG19 | 360957.13 | 4185337.00 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG20 | 360974.06 | 4185347.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG21 | 360991.03 | 4185358.25 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG22 | 361008.00 | 4185368.75 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG23 | 361024.97 | 4185379.50 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |
| AG24 | 361041.91 | 4185390.00 | 260  | 0.00 | 0.00      | 0   | 0.00 | 1     |

Figura 2.- Información cuantitativa proporcionada por SARI® para cada micro-parcela de micro-parcela de 20m x 13m del campo de trigo infestado de *A. sterilis*. AG: micro-parcela; X e Y coordenadas geográficas; NTP: número total de píxeles; NPAG: número de píxeles caracterizados como infestados de Avena. VDGA: valores digitales integrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- GARCÍA-TORRES, L.; PEÑA-BARRAGÁN, J.M.; CABALLERO-NOVELLA, J.J.; LÓPEZ-GRANADOS, F; JURADO-EXPÓSITO, M. (2008). SARI Software, Splitting and Assessment of Remote Images, Oficina del Registro de la Propiedad Intelectual, Consejería de Cultura, Sevilla, Junta de Andalucía, España, No. 200899900226820, pp. 39.
- LÓPEZ-GRANADOS, F; M. JURADO-EXPÓSITO; J. M. PEÑA-BARRAGÁN; L. GARCÍA-TORRES. (2006). Using remote sensing for identification of late season grass weed patches in wheat". *Weed Science*, 54, 346-353.
- SAAVEDRA, M., CUEVAS, J., MESA-GARCÍA, J. & GARCÍA-TORRES, L. (1989). Grassy weeds in winter cereals in Southern Spain. *Crop Protection*, 88, 181-187.

Summary: Quantification of wild oat (*Avena sterilis* L) infestation in wheat (*Triticum durum* L.) through remote sensing. The work was achieved through ground visits and multispectral airborne images (BGRNir) taken at late wheat growth stages (senescence), when wild oat patches were fructifying and still green. ENVI® software was used for image processing, and the "add-on" SARI® for precision quantification of the infested areas and variable-rates herbicide mapping.

Keywords: Precision agriculture, grassy weeds, software SARI®, variable-rate herbicide prescription mapping.