

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE AVENA POR RESISTENCIA AL PULGÓN VERDE DE LOS CEREALES (*Schizaphis graminum* Rondani)

Federico Condón^{1,2}

Mónica Rebuffo²

Rosario Alzugaray³

María José Cuitiño²

RESUMEN

La avena amarilla (*Avena byzantina* K. Koch) es una especie forrajera invernal de importancia en el Uruguay. Su cultivo se ha basado en dos variedades de avena amarilla, 'Estanzuela1095a' y 'RLE115'. Su susceptibilidad al daño causado por el pulgón verde de los cereales *Schizaphis graminum* Rondani (*Sg*) pone en compromiso el establecimiento del cultivo y la producción de forraje. Existe resistencia genética a *Sg* en avena, que se expresa por la antixenosis y antibiosis frente al pulgón y la tolerancia de los tejidos de la planta al daño causado por la toxina de los pulgones. Para *Schizaphis graminum* se ha diagnosticado la ocurrencia de biotipos en la región. La bibliografía internacional refiere a genotipos con genes de resistencia, mientras que en Uruguay se ha llevado a cabo la caracterización por resistencia en una colección de poblaciones criollas de avena amarilla. Esta caracterización hecha en invernáculo con inoculación de pulgones permitió identificar genotipos con tolerancia a *Sg* y también ajustar la metodología de trabajo para hacer esta caracterización más eficiente, con el objetivo de evaluar sistemáticamente materiales de mejoramiento. Se delinearán trabajos en curso y a futuro con el objetivo de introgresar genes de resistencia a *Sg* e identificar biotipos de *Sg* en Uruguay.

Palabras clave: *Avena byzantina*, *Avena sativa*, avena forrajera, variedades criollas, biotipos de pulgón.

INTRODUCCIÓN

La avena y en particular la avena amarilla (*Avena byzantina* K. Koch) ha sido la especie forrajera invernal de mayor difusión en el Uruguay durante décadas (250-350 mil hectáreas/año en el período 1950-2010), representando más del 50% del área de verdes anuales de invierno (Cuadro 1).

Los materiales más sembrados históricamente son de este tipo: 'Estanzuela 1095a' (seleccionada en 1925; Boerger, 1943) y 'RLE 115' (liberada en 1976, reelección de

la población de 'Estanzuela 1095a'; Millot *et al.*, 1981). Han proporcionado flexibilidad a los sistemas pastoriles, permitiendo siembras de enero-febrero y aumentando la disponibilidad de forraje en otoño-invierno. Como especie, la avena no solo aporta forraje de alto valor nutritivo sino que también contribuye a la diversificación de cultivos por su adaptación a la siembra directa, y capacidad para prosperar en períodos de altas temperaturas y escasa humedad.

Sin embargo, su susceptibilidad al daño causado por el pulgón verde de los cereales

¹ Recursos Genéticos, INIA La Estanzuela.

² Programa Pasturas y Forrajes, INIA La Estanzuela.

³ Protección Vegetal, INIA La Estanzuela.

Cuadro 1. Superficie sembrada (ha) en el Uruguay para distintos cultivos forrajeros anuales de invierno (CFI). Fuente: Censos Generales Agropecuarios, MGAP, Uruguay.

Año Censal	1950	1966	1970	1980	1990	2000
Avena doble propósito	80.713	102.263	66.596	65.018	52.037	32.251
Avena pastoreo	275.340	252.995	183.970	149.842	211.773	203.301
Subtotal área de Avena	356.053	355.258	250.566	296.453	263.810	235.552
Raigrás anual	7.208	82.416	59.377	39.265	53.335	98.251
Otros CFI	38.501	46.523	18.218	4.658	9.946	26.007
Total CFI	401.762	484.197	328.161	340.376	330.421	359.810
% Avena en total CFI	88,6%	73,4%	76,4%	87,1%	79,8%	65,5%

Schizaphis graminum Rondani (Figura 1) pone en compromiso el establecimiento del cultivo y por lo tanto su producción de forraje (Boerger, 1943, 1952; Silveira Guido y Conde, 1946). Estos afectan la avena al alimentarse de su savia causando un daño directo, además de inyectar saliva tóxica. También pueden ser vectores del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV - Barley Yellow Dwarf Virus; Halbert y Voegtlin, 1995), enfermedad que puede causar un daño indirecto incluso mayor que el daño directo al reducir tanto la producción de biomasa como el rendimiento de grano (Carrión *et al.*, 2005). *Schizaphis graminum* (*Sg*) posee una enorme capacidad reproductiva, fa-

vorecida en condiciones de temperaturas altas, y la disponibilidad de huéspedes diversos en los que alimentarse les confiere ventajas competitivas muy grandes (Blackman y Eastop, 1984; Bentancourt *et al.*, 2009). No solo la avena es atacada por *Sg*; sus posibles hospederos incluyen cereales como trigo, cebada, sorgo y también gramíneas forrajeras utilizadas en la región (raigrás, ceadilla, festuca y otras, Bentancourt *et al.*, 2009).

Esta susceptibilidad es crítica cuando se requiere de cultivares que se establezcan en un período de condiciones adversas en términos de humedad y de mucha actividad de insectos como frecuentemente sucede en



Figura 1. Detalle mostrando individuos de *Schizaphis graminum* o pulgón verde de los cereales. Adulto alado (a) y ninfa (b). Fotos de Jack Kelly Clark, cortesía del University of California Statewide IPM Program. Las fotos tienen derechos de propiedad de Regents of the University of California.

siembras tempranas. Se han documentado en el país invasiones de *Sg* durante los meses de mayo y junio de 1934-35; 1937; 1939 y 1944, que causaron grandes pérdidas en los cultivos de avena (Silveira Guido y Conde, 1946; Salvatori, 2004).

Sin duda, la mejor forma de disminuir el daño causado por *Sg* es controlando y manteniendo la población en niveles reducidos. En este sentido se destaca que antecedentes regionales como son los programas de control de la población de áfidos mediante la liberación de parasitoides y predadores del pulgón realizados por EMBRAPA-CNPT a fines de la década de 1970 impactaron significativamente en las poblaciones de *Sg* y otras especies en la región (Salvatori, 2000, 2004; Salvatori *et al.*, 2004). Sin embargo en los últimos años se ha asistido a un incremento tanto en las poblaciones como en las especies de áfidos presentes en los cultivos de Uruguay, al igual que Saluso (2004) y Salvatori (2004) reportan para Argentina y Brasil, respectivamente.

El uso masivo de plaguicidas y entre ellos el glifosato han incidido en la disminución de la eficiencia de los agentes de control establecidos y han conducido a la resurgencia de esta plaga (Salvatori, 2004).

DESCRIPCIÓN DE LA RESISTENCIA A *Schizaphis graminum*

La resistencia de la planta al pulgón (Flinn *et al.*, 2001) se manifiesta en mecanismos que incluyen:

- la antixenosis, o mecanismos de la planta que la hacen poco preferida por parte de los áfidos;
- la antibiosis por parte de la planta a los pulgones que provoca menor tasa de reproducción de los mismos que en aquellos genotipos que no la poseen;
- la tolerancia de los tejidos de la planta al daño causado por el pulgón, que se expresa cuando no se presenta clorosis o amarillamiento por la toxina de la saliva de los pulgones inyectada al alimentarse de la planta. Cuando un genotipo

no es tolerante, este amarillamiento cubre gran porcentaje de la hoja y la planta eventualmente muere. Una planta tolerante no recibe un daño significativo y no muere por el ataque de los pulgones.

Estas tres manifestaciones pueden presentarse juntas o separadas, y en diferentes proporciones (Holtkamp y Clift, 1993). Como mecanismos son importantes en diferentes etapas de la interacción entre la avena y los áfidos que la ataquen: lo ideal sería poder seleccionar genotipos que poseen antixenosis, que además poseen antibiosis y cuando son atacados por los pulgones, estos tienen una baja tasa de fecundidad, y por lo tanto la población de pulgones crece más lentamente para atacar otras plantas, y además, la planta tolera o resiste el ataque no presentando clorosis y no muere por este ataque, por lo tanto no se compromete el establecimiento del cultivo. Sin duda estas resistencias deberían estar complementadas por la resistencia al BYDV para tener un cultivo que no recibe daños significativos en el momento de la implantación.

DIVERSIDAD GENÉTICA EN *Schizaphis graminum*

Para *Sg* se ha diagnosticado la ocurrencia de biotipos en la región (Salto, 1976; Castro *et al.*, 1999; Noriega *et al.*, 2000), habiéndose identificado como predominante en Argentina los biotipos C y B, y menos frecuentemente el biotipo E. Esta variabilidad del insecto, que genera diferencias en su agresividad colonizadora, su preferencia por diferentes especies y en su tasa reproductiva, puede resultar en una limitante para el progreso genético de la resistencia en cereales, y debe ser tenida en cuenta para acceder a los genes y la diversidad genética necesaria para generar cultivares de avena forrajera con resistencia a el o los biotipos dominantes en Uruguay. Esta es una línea de trabajo en marcha, que consiste en identificar el o los biotipos de *Sg* presentes en el país. Para ello se está aplicando la metodología descrita por Burd y Porter (2006), utilizando un set diferencial de genotipos de trigo, cebada, centeno y avena que permite

identificar biotipos. Este es un trabajo que recién se encuentra en sus comienzos en nuestro país pero que tiene el potencial de definir la estrategia a seguir en el futuro.

DIVERSIDAD GENÉTICA EN EL MEJORAMIENTO DE AVENA POR RESISTENCIA A *Schizaphis graminum*

A nivel internacional se han identificado cuatro genes de resistencia a *Sg* en materiales de avenas provenientes de diversas regiones (Mongolia, Rusia, Japón, Italia, Argentina; Radchenko, 2004). El gen de resistencia al biotipo C (*Grb1*) proviene de un material argentino y cuya denominación es M.C. 41374 (USDA PI 186270), y que ha demostrado ser susceptible a los biotipos A y B (Daniels, 1978; Boozaya-Angoon *et al.*, 1981). Además, el genotipo CI 1580 posee un gen diferente (*Grb2*) que también le confiere resistencia Biotipo C (Boozaya-Angoon *et al.*, 1981), y el genotipo CI 2898 tiene el gen *Tg1* que le confiere resistencia al biotipo A (Gardenhire, 1964). Finalmente, el genotipo CI 4888 posee el gen *Grb3* que le confiere resistencia al biotipo B (Boozaya-Angoon *et al.*, 1981).

En lo que se refiere a mecanismos genéticos de control de la resistencia tanto para la avena blanca (*Avena sativa* L.) como para la avena amarilla, los resultados indican que estaría controlada por genes mayores dominantes, existiendo la posibilidad de que existan genes independientes que confieran resistencia a un mismo biotipo (Boozaya-Angoon *et al.*, 1981).

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO POR RESISTENCIA AL PULGÓN VERDE DE LA AVENA EN URUGUAY

La aparición de daños importantes en rai-grás en condiciones de producción (Alzugaray, 2004) ha motivado el comienzo de actividades para identificar diferencias varietales e incorporar mejores niveles de

resistencia a *Sg*. Uno de los recursos genéticos de avena de los que INIA dispone es una colección de 40 poblaciones criollas de avena, caracterizadas morfológicamente por Vilaró *et al.* (2004). Estas poblaciones provienen de una colecta realizada en 1999 que recogió germoplasma de avena o «variedades criollas» mantenidas por productores por largos períodos de tiempo (actividad financiada por PROCISUR - Subprograma Recursos Genéticos). Este recurso genético ha estado bajo la presión natural de selección vinculado a altas presiones de estreses bióticos y al pastoreo (Rebuffo y Abadie, 2001; Vilaró *et al.*, 2004). El 50% de estas poblaciones se originan a partir del cultivar 'Estanzuela 1095a', siendo por lo tanto avenas amarillas de más directo uso en el mejoramiento como verdeo. Uno de los estreses bióticos a los que la avena se debe adaptar es el ataque de pulgones en la fase de implantación, sobre todo en siembras tempranas (Perea y Núñez, 1981; Alzugaray, 2004).

Bajo esta hipótesis de trabajo se planteó el caracterizar por su comportamiento ante *Sg* a una colección total de 120 accesiones de avena previamente caracterizada morfológicamente por Vilaró *et al.* (2004). Esta colección está compuesta por: a) 40 poblaciones criollas del tipo amarilla mantenidas por productores; b) 47 accesiones antiguas de avenas tipo blanca y amarilla originarias de la región y re-introducidas desde bancos de germoplasma de Estados Unidos y Alemania; c) 12 líneas modernas de *Avena sativa* de la Colección Quaker Oats; e) 17 líneas seleccionadas de 'Estanzuela 1095a' y 'RLE 115' por resistencia a roya de la hoja y e) los cultivares 'INIA LE Tucana', 'INIA Polaris', 'Estanzuela 1095a' y 'RLE 115' como testigos.

Los resultados preliminares de la caracterización de esta colección hecha en invernáculo con inoculación de pulgones fueron presentados por Rebuffo *et al.* (2005a; 2005b), indicando la identificación de materiales criollos con mejor tolerancia de *Sg* que el cultivar 'Estanzuela 1095a'. Esta etapa permitió seleccionar genotipos más tolerantes o más susceptibles derivados de las variedades criollas. En la Figura 2 se puede observar la dispersión en el comportamien-

to de la colección, y destacar aquellos que podemos denominar más tolerantes porque a igual o mayor número de pulgones presentan una menor proporción de área afectada o más susceptibles (Figura 3).

Los resultados de este experimento también han permitido ajustar la metodología de trabajo a nivel nacional para hacer esta caracterización más eficiente, y con el objetivo de hacer la evaluación de materiales de mejoramiento.

Este experimento ha permitido identificar genotipos provenientes de poblaciones criollas de avena derivadas de 'Estanzuela 1095a' con respuestas contrastantes frente a la presencia de *Sg* desde genotipos que presentan un número medio a bajo de pulgones pero no muestran área afectada (Figura 3a), que presentan un alto número de pulgones y un área afectada baja (Figura 3b), genotipos muy preferidos por los pulgones pero con un nivel de daño intermedio y genotipos con número medio de pulgones (Figura 3c) y un alto porcentaje de área afectada (Figuras 3d y 3e).

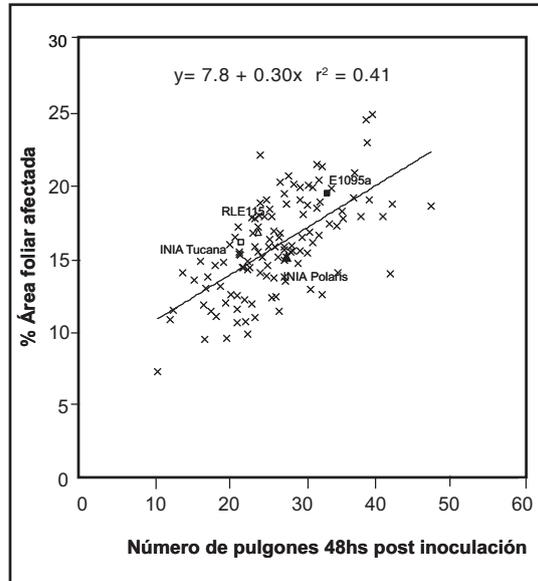


Figura 2. Relación entre el número de pulgones *Schizaphis graminum* contados sobre plantas a las 48 horas pos-inoculación y el porcentaje de área afectada (medias ajustadas). El nombre de los cultivares testigos se indica en la gráfica.

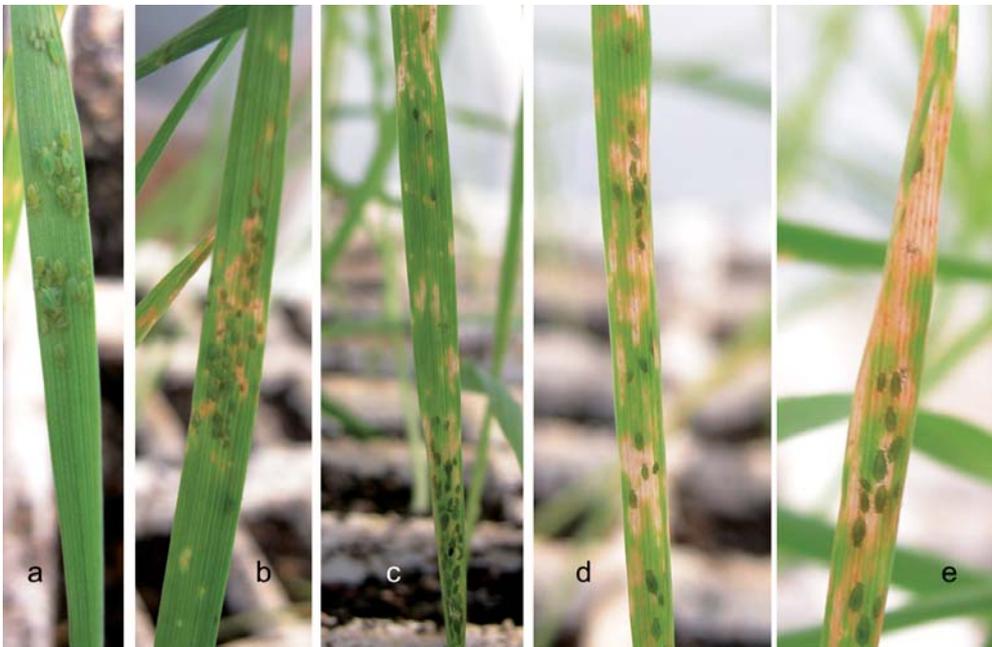


Figura 3. a) Genotipo de avena muy tolerante con la primera hoja atacada por un número medio de pulgones y sin área afectada por toxemia. b) Genotipo tolerante con la primera hoja atacada por un número alto de pulgones y porcentaje bajo de área afectada. c) Genotipo muy preferido por los pulgones y con nivel de daño intermedio. d) y e) Genotipos con número medio de pulgones y alto nivel de daño.

ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA EL FUTURO

Las líneas de trabajo en marcha con respecto al mejoramiento de avena por resistencia a *Sg* implican el cruzamiento de las mejores líneas de germoplasma con lento enroyamiento, producto del cruzamiento de avenas de alta producción de forraje con líneas derivadas de 'Estanzuela 1095a' seleccionadas por su comportamiento frente a la roya de hoja, con las líneas derivadas de las poblaciones criollas con mejor resistencia a *Sg*. Los antecedentes bibliográficos indican que para avena, la resistencia a *Sg* ha sido encontrada en genes mayores dominantes, lo que indica la factibilidad de la introgresión de genes de interés en lo referente a resistencia a *Sg*.

AGRADECIMIENTOS

A Pablo Calistro y Natalia Calistro por el trabajo de laboratorio, a Dinorah Rey por el cuidado en el invernadero, a los Ings. Agrs. Sebastián Hernández, Sebastián Arrivillaga y Javier Ciliuti por la evaluación de daño y colecta de información, a Amado Vergara por las fotografías.

BIBLIOGRAFÍA

- ALZUGARAY R.** 1999. Semilleros de TITAN en área de Young; memorandum [dirigido a] Francisco Formoso y Jaime García-31 de agosto. La Estanzuela, Colonia, UY, INIA. [s.p.]
- BENTANCOURT, C.M.; SCATONI, I.B.; MORELLI, E.** 2009. Insectos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. 658 p.
- BLACKMAN, R.L.; EASTOP, V.F.** 1984. Aphids on the World Crops; An identification Guide. New York, Wiley. 466 p.
- BOERGER, A.** 1943. El pulgón verde como problema fitopatológico común de los cereales forrajeros de invierno. En: Genética fitotecnica rioplatense. Montevideo, Barreiro. Investigaciones Agronómicas N° 2. p. 894-896.
- BOERGER, A.** 1952. Genética de la inmunidad vegetal en el Rio de la Plata. Archivo Fitotécnico del Uruguay 5(1): 55-93.
- BOOZAYA-ANGOON, D.; STARKS, K.J.; EDWARDS, L.H.; PASS, H.** 1981. Inheritance of Resistance in Oats to Two Biotypes of the Greenhug. Environmental Entomology 10(4): 557-559.
- BURD, J.D.; PORTER, D.R.** 2006. Biotypic diversity in greenbug (Hemiptera: Aphididae): characterizing new virulence and host associations. J. Econ. Entomol. 99: 959-965.
- CARRIÓN, F.; BAO, L.; MAESO, D.; ALTIER, N.** 2005. Estudios de transmisión de AMV y Potyvirus por áfidos en condiciones controladas. En: Bao, L.; Maeso, D.; Altier, N. (Eds.) Enfermedades virales del trébol rojo en Uruguay: Avances de la investigación en el período 1994-2004. INIA Uruguay, Serie Técnica N° 150, p. 59-65.
- CASTRO, A.M.; VSICEK, A.; RAMOS, S.; WORLAND, A.; SUÁREZ, E.; MUÑOZ, M.; GIMENEZ, D.; CLÚA, A.A.** 1999. Different types of resistance against greenbug, *Schizaphis graminum* Rond, and the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* Mordvilko, in wheat. Plant Breeding 118: 131-137.
- DANIELS, N.E.** 1978. Greenbug resistance in oats. The Southwestern Entomologist 3(3): 210-214.
- FLINN, M.; SMITH, C.M.; REESE, J.C.; GILL, B.** 2001. Categories of resistance to greenbug (Homoptera; Aphididae) Biotype I in *Aegilops tauschii* germplasms. J. Econ. Entomol. 94 (2): 558-563.
- GARDENHIRE, J.H.** 1964. Inheritance of Greenbug Resistance in Oats. Crop Sci. 4: 443.
- HALBERT, S.; VOEGTLIN, D.** 1995. Biology and Taxonomy of Vectors of Barley Yellow Dwarf Viruses. En: D'Arcy, Burnett (eds.) Barley Yellow Dwarf; 40 Years of Progress. St. Paul, APS. p. 217-258.
- HOLTKAMP, R.H.; CLIFT, A.D.** 1993. Establishment of three species of lucerne aphids on 24 cultivars of lucerne. Australian Journal of Agricultural Research 44: 53-58.
- MGAP.** 2000 Censo General Agropecuario 2000 (fuente MGAP/DIEA; www.mgap.gub.uy)

- MILLOT, J.C.; REBUFFO, M.; ACOSTA, Y.** 1981. RLE 115: nueva variedad de avena. En Avena. Estación Experimental Agropecuaria La Estanzuela (Uruguay). Miscelánea N° 36, p.1-12.
- NORIEGA, A.E.; CHIDICHIMO, H.; CASTRO, A.M.** 2000. Determinación de biotipos en tres poblaciones de pulgón verde colectados en tres localidades de importancia cerealera en Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 104 (2): 85-92.
- PEREA, C.F.; NÚÑEZ, S.** 1981. Importancia de los pulgones del trigo en el Uruguay. CIAAB, Uruguay, Miscelánea N° 31, 21 p.
- RADCHENKO, E.** 2004. Greenbug resistance in local oat samples from East Asia. Proceedings 7^a International Oat Conference, Helsinki. p. 188.
- REBUFFO, M.; ABADIE, T.** 2001. Genetic resources for temperate areas: achievements and perspectives. En: International Grassland Congress (19., 2001, São Paulo, SP, BR). Proceedings. pp. 469-475. Sociedade Brasileira de Zootecnia, [s.l.]. 1 disco compacto.
- REBUFFO, M.; ALZUGARAY, R.; HERNÁNDEZ, S.; ARRIVILLAGA, S.; CONDON, F.** 2005a. Caracterización de avena por tolerancia al pulgón verde de los cereales, *Schizaphis graminum* (Rondani). 223. En: Condon, F.; González, A. (Eds.) Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe (5., 2005, Montevideo, UY). Resúmenes. Montevideo, SIRGEALC. p. 81.
- REBUFFO, M.; CONDON, F.; ALZUGARAY, R.** 2005b. Variedades criollas de forrajeras templadas: conservación y uso en mejoramiento genético. En: SIRGEALC [Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe] (5., 2005, Montevideo, Uruguay). Agrociencia (Montevideo) 9 (1/2): 105-114.
- SALUSO, A.** 2004. Estado actual de la afidofauna y de sus controladores biológicos en el cultivo de trigo en Paraná (Entre Ríos). Consultado: 19 set. 2006. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/trigo/otros_documentos/155.pdf
- SALTO, C.E.** 1976. Pulgón verde de los cereales. I. Presencia de dos biotipos en Argentina. Chacra Experimental de Barrow, Publicación Técnica N° 14, 8 p.
- SALVADORI, J.R.** 2000. Pragas do trigo no Brasil. En: Guedes, J.C.; da Costa, I.D.; Castiglioni, E. (Eds.). Bases e técnicas do manejo de insetos. Santa Maria, RS; UFSM/CCR/DFS Pallotti. p. 155-167.
- SALVADORI, J.R.** 2004. Desafíos para o manejo de insetos-praga na cultura do trigo. En: Congresso Brasileiro de Entomologia (20., Gramado, RS, BR). Desafios para o manejo de pragas em culturas anuais; mesa-redonda.
- SALVADORI, J.R.; SILVA, M.T.B. DA; CHOCOROSQUI, V.R.** 2004. Desafíos para o manejo integrado de insetos-praga na cultura do trigo. En: Congresso Brasileiro de Entomologia (20., Gramado, RS, BR). Programa e Resumos [s.l.], SEB. p. 111.
- SILVEIRA GUIDO, A.; CONDE JAHN, E.** 1946. El pulgón verde de los cereales del Uruguay. Revista de la Facultad de Agronomía, Uruguay, N° 41, 54 p.
- VILARÓ, M.; REBUFFO, M.; MIRANDA, C.; PRITSCH, C.; ABADIE, T.** 2004. Characterization and analysis of a collection of *Avena sativa* L. from Uruguay. Plant Gen. Res. Newsl. 140: 23-31.