**tratamientos DE NUTRICIÓN y bioprotección CON Bacillus subtillis Y un extracto deL alga Macrocystis pyrifira sobre semilla y canopeo de SORGO *(Sorghum bicolor)*.**

**INTA EEA Pergamino**

**campaña 2015/16**

**Ing. Agr. (Msc) Gustavo N. Ferraris**

*INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino*

*ferraris.gustavo@inta.gob.ar*

INTRODUCCIÓN

El sorgo es una especie de notable tolerancia a la salinidad y sodicidad. El mismo se cultiva en suelos de variada aptitud por lo que es frecuente que aparezcan carencias nutricionales severas. En suelos alcalino-sódicos el pH del suelo y la elevada saturación del complejo de cambio con Na dispersan las arcillas, impermeabilizan el suelo, y vuelven insolubles y poco disponibles para las plantas una serie de nutrientes catiónicos, entre los que se cuentan cationes como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Una alternativa para su corrección es mejorar la nutrición de la planta sin pasar por el suelo, y allí surge el interés por mejorar su eficiencia de recuperación a través de tratamientos de semilla y por vía foliar.

Los objetivos de este trabajo de investigación son 1. Estudiar los efectos sobre el crecimiento, la productividad y otros parámetros de cultivo de un grupo de tratamientos biológicos aplicados sobre semilla de sorgo, en comparación con un testigos no inoculado y 2. Evaluar la eficacia de aplicaciones foliares sobre la sanidad y el rendimiento del cultivo. Hipotetizamos que 1. Los tratamientos de semilla con algas o microorganismos incrementan los rendimientos de sorgo 2. De manera menos convencional y por mecanismos diferentes, podrían lograrse efectos favorables por aplicaciones foliares.

**Palabras clave: *Sorgo, algas, bioprotección, fertilización sobre semilla, foliar.***

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Se implantó un experimento de campo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico, (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), capacidad de uso: I; IP=85. El ensayo se sembró el día 16 de oCTUBRE y fue espaciado a 0,7 m entre hileras, a una densidad de 130000 pl/ha. El cultivar sembrado fue Advanta ADV 1200. El cultivo fue fertilizado a la siembra con 100 kg ha-1 de MAP, 100 kg ha-1 de Sulfato de Calcio y 200 kg ha-1 de Urea Granulada. El diseño de los ensayos correspondió a bloques completos al azar con 4 repeticiones y 4 tratamientos, los cuales se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** *Tratamientos de semilla y foliar con Macrocystis pyrifira y Bacillus subtillis evaluados en el ensayo. Sorgo, Campaña 2015/16.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Trat** | **Promotor de crecimiento** | **Macrocystis pyrifira** | **Tratamiento foliar (V8)** |
| **T1** | Testigo |  |  |
| **T2** |  | Inmuno-alfa algae semilla  (I-algae) (5 ml/kg semilla) |  |
| **T3** | Bacillus sultillis preinoculado 15 d.a.s. | Inmuno-alfa algae semilla  (I-algae) (5 ml/kg semilla) |  |
| **T5** | Bacillus sultillis preinoculado 15 d.a.s. |  | Inmuno-alfa algae foliar  (2000 ml/ha) |

**Tabla 2:** *Análisis de suelo al momento de la siembra*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Prof** | **pH** | **Materia Orgánica** | **N total** | **Fósforo disponible** | **N-Nitratos**  **(0-20) cm** | **N-Nitratos suelo 0-60 cm** | **S-Sulfatos suelo 0-20 cm** | **Zinc** |
|  | **agua 1:2,5** | **%** | | **mg kg-1** | **ppm** | **kg ha-1** | **mg kg-1** | **ppm** |
| **0-20 cm** | 5,8 | 3,31 | 0,165 | 11,2 | 3,6 | 14,8 | 6,4 | 0,82 |
| **20-40 cm** |  |  |  |  | 1,4 |  | 9,1 |  |
| **Prof** | **Potasio** | **Magnesio** | **Calcio** | **Sodio** | **Manga**  **neso** | **Cobre** | **Hierro** | **Boro** |
|  | **mg kg-1** | **mg kg-1** |  | **mg kg-1** | **mg kg-1** | **mg kg-1** | **mg kg-1** | **mg kg-1** |
| **0-20 cm** | 523 | 202 | 1702 | 92 | 53,4 | 1,51 | 103 | 0,61 |

Las aplicaciones de fertilizante foliar fueron realizadas con mochila manual de presión constante. La misma cuenta con un botalón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que a una presión de 4 kg permiten asperjar 100 l ha-1. En todos los tratamientos, la solución se acompañó del aceite vegetal Natur’l Óleo, a la dosis de 500 ml ha-1. En el tratamiento T4, fungicida y *Bacillus* se aplicaron en conjunto como solución de tanque.

En el estado V8 se determinó la intensidad de verde medida por Green seeker y la cobertura e intercepción de radiación. En la floración se midió el número de hojas fotosintéticamente activas, el vigor, cobertura y altura de plantas. A cosecha de determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

**RESULTADOS**

**Descripción climática de la campaña**

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 2 las temperaturas, horas de luz y el coeficiente fototermal (Q) para Pergamino. Las precipitaciones fueron favorables y bien distribuidas, con una pausa durante enero e inicios de febrero (Figura 1). Por su parte, las temperaturas fueron superiores en comparación con la campaña anterior, determinando un menor coeficiente fototermal (Figuras 2). Asimismo, se registraron precipitaciones sobreabundantes durante noviembre y en menor medida en febrero, las cuales no causaron excedentes por la posición del sitio, alto y con pendiente.

**Figura 1:** *Precipitaciones (celeste) y evapotranspiración (en rojo) en el sitio experimental. INTA EEA Pergamino, campaña 2015/16. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) 220 mm. La flecha indica la floración.*

**Figura 2:** *Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (ºC) diaria para el período 10 de diciembre - 14 de febrero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica de la floración, e inicios de llenado de los granos. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As), campaña 2015/16.*

**B) Resultados del experimento:**

En la Tabla 3 se presentan los parámetros morfológicos y fisiológicos de cultivo así como los componentes del rendimiento, mientras que en la Figura 3 se presentan los rendimientos y sus desvíos.

**Tabla 3:** *Parámetros morfológicos y componentes de rendimiento: Altura de plantas, Cobertura-intercepción de radiación en V10, Intensidad de verde determinado mediante Spad y NDVI por Green seeker, vigor, rendimiento y sus componentes numéricos. Ensayo con Macrocystis pyrifira y Bacillus subtillis. INTA Pergamino, campaña 2015/16.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tr** | **Descripción** | **Altura final planta(cm)** | **Cobertura V10 (%)** | **Spad R1** | **Green seeker V10** |
| **T1** | **Control** | 1,3 | 58,6 | 46,3 | 0,78 |
| **T2** | **I-algae (s)** | 1,4 | 70,0 | 47,1 | 0,79 |
| **T3** | **B. subtilis (s) + I-algae (s)** | 1,5 | 66,7 | 47,2 | 0,80 |
| **T4** | **B. subtilis (s) + I-algae (f)** | 1,4 | 68,8 | 47,1 | 0,77 |
|  |  | **0,74** | **0,04** | **0,75** | **0,69** |
| **Tr** | **Descripción** | **Vigor (1-5)** | **Rend**  **(kg ha-1)** | **NG/m2** | **PG (g)** |
| **T1** | **Control** | 3,0 | **7988,7** | 29370,3 | 27,2 |
| **T2** | **I-algae (s)** | 3,4 | **8931,7** | 31899,0 | 30,2 |
| **T3** | **B. subtilis (s) + I-algae (s)** | 3,6 | **8614,9** | 29104,2 | 29,6 |
| **T4** | **B. subtilis (s) + I-algae (f)** | 3,8 | **9094,1** | 33933,2 | 26,8 |
|  | | **0,21** |  | **0,65** | **0,28** |
| **Sign. Est (P=)** | |  | **0,29** |  |  |
| **CV (%)** | |  | **7,8** |  |  |

***Índice de Vigor:*** *1 mínimo 5-máximo*

**Figura 3:** *Producción media de sorgo según tratamientos biológicos con Macrocystis pyrifira y Bacillus subtillis. Pergamino, año 2015/16. Las barras de error indican la desviación standard de la media.*

**DISCUSION Y CONCLUSIONES**

Los rendimientos alcanzaron una media de 8657,3 kg ha-1, un valor alto y aceptable para el cultivo, siendo favorecido por las abundantes precipitaciones y baja presión de plagas de la campaña. Un breve período de escasas precipitaciones y altas temperaturas no afectó los rendimientos.

Las diferencias entre tratamientos no alcanzaron la significancia estadística (P>0,10), producto de un acotado número de grados de libertad en el experimento (6). La diferencia mínima significativa (LSD<0,05) fue de 1355,6 kg ha-1, probablemente superior a la esperada para una tecnología de tratamientos biológicos. Sin embargo, se visualizaron tendencias que deberían destacarse. La diferencia máxima de 1105 kg ha-1 se obtuvo con el tratamiento completo (T4), que combinó *Bacillus subtillis* sobre semilla e I-algae foliar. Esta tecnología de tratamientos foliares permitió obtener las mayores diferencias de rendimiento en un experimento similar conducido en Soja por nuestro grupo de trabajo, durante la presente campaña. Luego, en orden de rendimiento, se ubicaron I-algae (semilla) (T2), I-algae (s) + Bacillus subtillis (foliar)(T3), y por último el tratamiento control (T1).

Un grupo de variables explicaron en forma significativa los incrementos de rendimiento. Estos fueron Indice verde por Spad (R2=0,75), Altura final de planta (R2=0,74), NDVI por Green seeker (R2=0,69) y NG (R2=0,65)(Tabla 3).

Los resultados obtenidos permiten aceptar parcialmente las hipótesis propuestas. Se obtuvieron incrementos, que fueron agronómicamente relevantes y no estadísticos, especialmente por tratamientos combinados que reunieron aplicaciones sobre semilla y vía foliar. Los tratamientos biológicos son una alternativa de bajo impacto económico y ambiental, que en forma complementaria al manejo, fertilización y habitual protección del cultivo, podría contribuir a mejorar los rendimientos incrementado la eficiencia de uso de los recursos. Se constituye así en una de las áreas del conocimiento con mayor potencialidad para aumentar los rendimientos en un futuro cercano.

**ANEXO: Descripción de las condiciones climáticas bajo las cuales se realizaron las aplicaciones.**

**Tabla 4**: *Estado del cultivo al momento de la aplicación.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Momento de aplicación** | **Fecha de aplicación** | **Estado del cultivo** | **Altura (cm)** | **Cobertura (%)** |
| **V8** | 10-dic | V6 | 45 | 50 |

**Tabla 5**: *Condiciones ambientales durante la aplicación.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Momento de aplicación** | Humedad  de suelo  (0-2 cm) | Humedad de suelo  (3-18 cm) | Temperatura aire (°C) | Humedad relativa (%) | Velocidad. viento  (km h-1) | Nubosidad | Ppciones 24 hs dda |
| **V8** | Humedo | Húmedo | 25,0 | 59 | 9,3 W | 0 | 0 |

*Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto*

*dda: después de aplicación.*

**BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Belanger R, Dufuor N, Caron J & Benhamou N. 1995. Chronological events associated with the antagonistic properties of Trichoderma harzianum against Botrytis cinerea: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. Biocontrol Science Technology. 5: 41-54.

Covasevic, F., H. Echeverría y Y. Andreoli. 1995. Micorriación vesículo-arbuscular espontánea en trigo en función de la disponibilidad de fósforo. Ciencia del Suelo 13:47-51.

De Battista, J.J., A.C. Alaluf, N.M. Arias, y M. Castellá. 2010. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de sorgo granífero Sorghum bicolor (L.) Moench. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 408-410. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA, Pergamino, Argentina.

Díaz-Zorita, M., M.V. Fernádez-Canigia. 2008. Field performance of a liquid formulation of Azospirillum brasilense on dryland wheat productivity, Eur. J. Soil Biol. doi:10.1016/j.ejsobi.2008.07.001

Döbereiner, J., I. Marriel and M. Nery. 1976. Ecological distribution of Spirillum lipoferum Beijerinck. Can J Microbiol 22: 1464-1473.

Faggioli, V., G. Freytes y C. Galarza. 2008. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo. Publicación Técnica INTA EEA Marcos Juárez. Disponible on line [http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Suelos/trigo\_ micorrizas08.pdf](http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ/info/documentos/Suelos/trigo_%20micorrizas08.pdf)

Ferraris, G. 2013. Microorganismos con efecto Promotor de Crecimiento (PGPM) en cultivos extensivos. Impacto sobre los rendimientos, la eficiencia de uso de los nutrientes y otros caracteres de interés agronómico. 8 pp. En: Díaz-Zorita, Correa, Fernández Canigia y Lavado (eds). Actas III Jornada del Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas. Aportes de la microbiología a la producción de los cultivos. INBA-FAUBA. Buenos Aires, Junio de 2013.

Ferraris, G. 2016. Tecnologías destinadas a incremetnar la eficiencia de uso de los recursos en trigo: el rol de los promotores de crecimiento vegetal y micronutrientes. 4pp. En: Manual Técnico del Cultivo de Trigo. Edición 2016. AACREA (en prensa).

Ferraris, G. y L. Couretot. 2008. Evaluación de la inoculación con Micorrizas bajo diferentes ambientes de fertilidad. pp 48-52. En: Trigo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2014. Eficiencia de preinoculación con Trichoderma harzianum en trigo según tiempos de preinoculación. Informe de Resultados. INTA EEA Pergamino, 7 pp.

Ferraris, G., L. Couretot y M. Díaz Zorita. 2008. Respuesta de trigo a tratamientos con Azospirillum sp. según niveles tecnológicos. CD Room. VII Congreso Nacional de Trigo.V Simposio Invernal de Cereales de siembra Otoño –Invernal. I Encuentro del Mercosur.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Giailevra,, C. Negro, y L. Belotti. 2008. Aspectos de manejo y fertilización nitrogenada para el sorgo granífero. Agromercado, Cuadernillo Clásico de Sorgo, No. 148, pp. 6-10.

Fontanetto, H., O. Keller, L. Belotti, C. Negro, y D. Giailevra. 2010. Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero (campaña 2008/09). Informaciones Agronómicas del Cono Sur 46:21-23.

García, F.O.; L.I. Picone y A. Berardo. 2006. Fósforo. Pág. 99-121. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. 521p.

Kloepper, J.W., R. Lifshitz and R.M. Zablotowicz. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends Biotecnol. 7:39-49.

Moges, S.M., K. Girma, R.K. Teal, K.W. Freeman, H. Zhang, D.B. Arnall, S.L. Holtz, B.S. Tubaña, O. Walsh, B. Chung, y W.R. Raun. 2007. In-season estimation of grain sorghum yield potential using a hand-held optical sensor. Archives of Agronomy and Soil Science 53(6):617-628.

Peterson R.L., H.B. Massicotte y L.H. Melville . 2004. Arbuscular mycorrhizas. En: Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology. NRC-CNRC. Research Press.Otawa. Canada. Chap.3: 57-79.

Puente, M. y A. Perticari. 2006. Inoculación de trigo con Azospirillum. Trigo en Siembra Directa. 97-99. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, AAPRESID.

Raun, W.R., J.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, K.W. Freeman, R.W. Mullen, H. Zhang, J.S. Schepers, y G.V. Johnson. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36:2759-2781.

Ritchie, S. and J. Hanway. 1993. How a Corn Plant Develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. [www.iastate.edu](http://www.iastate.edu)

Sid Ahmed A, Ezziyyani M, Pérez Sánchez C & Candela ME. 2003. Effect of chitin on biological control activity of Bacillus spp. and Trichoderma harzianum against root rot disease in pepper (Capsicum annuum) plants. European Journal of Plant Pathology 109: 418-426.

Vanderlip, R.L. 1993. How a sorghum plant develops. Kansas State University, 20 p.

Zamora, M., A Melin, y S Balda. 2010. Fertilización con nitrógeno y azufre en sorgo granífero en el centro de Buenos Aires. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 444-446. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA, Pergamino, Argentina. c