

INOCULACIÓN DE SEMILLAS DE CEBADA CON *Azospirillum brasilense*: PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y USO DEL AGUA

INOCULATION OF BARLEY SEEDS WITH *Azospirillum brasilense*: SHOOT DRY MATTER PRODUCTION AND WATER USE

Alvarez Cristian Osvaldo¹ y Martín Díaz-Zorita^{2*}

Recibido 05/11/2019
Aceptado 27/03/2020

RESUMEN

El crecimiento de cereales invernales en regiones semiáridas y subhúmedas es limitado por factores de estrés abiótico que podrían ser mitigados por la incorporación de microorganismos promotores del crecimiento. El objetivo fue cuantificar la evolución en la producción de biomasa aérea de cebada (*Hordeum vulgare* L.) como cultivo de cobertura inoculado con *Azospirillum brasilense* según dos niveles de fertilización. En dos sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana, con condiciones hídricas iniciales contrastantes, se instalaron cuatro tratamientos combinando el tratamiento de semillas con *Azospirillum brasilense* y la fertilización en la siembra con fósforo y con nitrógeno. Durante el desarrollo de los cultivos no se observaron limitaciones aparentes en la normal provisión de agua. Los tratamientos de fertilización y de inoculación mostraron efectos independientes sobre la producción de biomasa aérea con aportes medios del 23% al inocular y del 44% al fertilizar. La mayor tasa de crecimiento al inocular ocurrió entre macollaje y encañazón adelantando el momento de máxima producción del cultivo. La inoculación de semillas de cebada con *Azospirillum brasilense* es una práctica recomendable para mejorar la contribución en la producción de cultivos de cobertura invernal y su integración en sistemas agrícolas con especies estivales.

PALABRAS CLAVE: Agricultura de secano; cultivos de cobertura; fertilización; promotores biológicos; sustentabilidad

ABSTRACT

In semiarid and subhumid environments, plant growth promoting microorganisms mitigate abiotic stresses that frequently limit the grain production of winter cereals. Our objective was to quantify the field evolution of the shoot dry matter production of barley (*Hordeum vulgare* L.) cover crops inoculated with *Azospirillum brasilense* combined with two levels of fertilization. Four treatments combining a seed treatment with *Azospirillum brasilense* and nitrogen and phosphorus fertilization at sowing were placed in two sites from the semiarid and subhumid pampas region under contrasting initial water conditions. During the growing season, the water availability (rainfalls and water table contribution) was adequate for achieving normal growth of the crops. The fertilization and the inoculation treatments showed independent effects on the shoot biomass production with 23% mean response to inoculation and 44% mean response to fertilization. In the inoculated treatments, the greater shoot growth rate was observed between tillering and stem elongation anticipating the moment for maximum dry matter production compared with the treatments without inoculation. The inoculation of barley seeds with *Azospirillum brasilense* is a recommended management practice in dryland agricultural systems in the semiarid and subhumid pampas integrated with the production of annual summer crops.

KEY WORDS: Dryland agriculture; cover crops; fertilization; biological promoters; sustainability

Cómo citar este trabajo:

Alvarez, C. O., y M., Díaz-Zorita. 2020. Inoculación de semillas de cebada con *Azospirillum brasilense*: producción de biomasa aérea y uso del agua. *Semiárida*, 30(1), 09-17.

INTRODUCCIÓN

En sistemas agrícolas de regiones semiáridas y subhúmedas los cereales invernales de cobertura contribuyen a la protección ante

¹ INTA, AER General Pico, La Pampa
² DZD AGRO SRL. América. Buenos Aires y Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. Santa Rosa, Argentina
* mdzorita@gmail.com



procesos de erosión y con otros beneficios sobre los suelos y los cultivos en rotación (Kruger y Quiroga, 2013). Sin embargo, como su crecimiento durante el invierno es escaso, su ciclo de producción se extiende durante la primavera y reducen la cantidad de agua almacenada para la siembra de cultivos estivales limitando sus rendimientos. Servera et al. (2016) describieron en Anguil (La Pampa, Argentina) que la acumulación de agua en el momento de la siembra de maíz (*Zea mays* L.) disminuye al postergar el quemado de centeno (*Secale cereale* L.). En la región semiárida pampeana se reconoce que al fertilizar y corregir limitaciones de nutrientes aumenta la producción de biomasa de pasturas y de cereales durante el invierno mejorando la eficiencia de uso del agua (Raspo y Tassone, 2016; Fernández et al., 2017). Además, este mayor crecimiento adelanta la máxima acumulación de biomasa de las especies fertilizadas (Díaz-Zorita y Gonella, 1997; Agnusdei et al., 2001).

En la rizosfera se encuentran diversos microorganismos que facilitan procesos de nutrición mineral, del metabolismo del carbono y del crecimiento de las plantas. Entre estos, algunas cepas de *Azospirillum* sp. han sido aisladas y utilizadas para su introducción por ejemplo en tratamientos de semillas. Los cambios en el crecimiento de plantas inoculadas con *Azospirillum* sp. son en respuesta a múltiples factores entre los que se describen, entre otros, moderados aportes de nitrógeno atmosférico, producción y la liberación de hormonas o sus precursores (Cassán y Díaz-Zorita, 2016). En las plantas inoculadas se observa mayor producción inicial de raíces, tanto por mayor elongación como proliferación y en la biomasa aérea con aportes decrecientes sobre la producción de granos (Veresoglou y Menexes, 2010). Estas respuestas se observan principalmente ante moderadas limitaciones en la disponibilidad de agua y de nutrientes, frecuentes en sistemas extensivos de secano en regiones semiáridas y subhúmedas. Por ejemplo, en la región pampeana, Díaz-Zorita y Fernández-Canigia (2009) mostraron mayores respuestas en la producción de granos de trigo (*Triticum aestivum* L.) en cultivos inoculados con una formulación líquida conteniendo *Azospirillum brasilense* en sitios con suelos

clasificados como Hapludoles típicos que en Haplustoles típicos. Un estudio desarrollado en la región semiárida de Australia muestra que la población de fijadores libres de nitrógeno aumenta durante estadios tempranos del crecimiento de trigo cuando los cultivos reciben la aplicación de *Azospirillum* sp. (Kazi et al., 2016). Sin embargo, su contribución relativa disminuye en estadios posteriores del cultivo y sus resultados sobre el crecimiento y la producción varían según las condiciones hídricas (Kazi et al., 2016). En promedio los aportes de la inoculación con *Azospirillum* sp. sobre la producción de biomasa aérea de cereales de inviernos duplicaría a la observada en rendimiento en grano. Estudios en la región semiárida y subhúmeda pampeana muestran aumentos del 12% de producción de biomasa de triticale (X Triticosecale Wittmack), trigo y centeno (Díaz-Zorita y Balaña, 2004) y de cebada (*Hordeum vulgare*) (Cassán y Díaz-Zorita, 2016).

Por lo tanto, si bien la incorporación de microorganismos promotores del crecimiento incrementaría la acumulación inicial de biomasa aérea de cereales invernales y su respuesta estaría limitada por la disponibilidad iniciales de agua y de nutrientes. El objetivo de este estudio fue cuantificar la evolución en la producción de biomasa aérea de cultivos de cebada en relación con la aplicación de un tratamiento de semillas conteniendo *Azospirillum brasilense* según dos niveles de nutrición mineral en sitios representativos de la región semiárida-subhúmeda pampeana con condiciones hídricas contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en dos lotes de producción agrícola ubicados en la región semiárida-subhúmeda pampeana aledaños a las localidades de Intendente Alvear (La Pampa, Argentina) y Buchardo (Córdoba, Argentina) con suelos profundos (Tabla 1). En ambos sitios el 5 de junio de 2016 se sembraron cultivos de cebada variedad Scarlett a razón de 280 semillas.m⁻² bajo prácticas de labranza cero con control químico de malezas.

Se instalaron cuatro tratamientos combinando la aplicación de un inoculante conteniendo

Azospirillum brasilense y la fertilización con nitrógeno y fósforo. La inoculación se realizó en el momento de la siembra a razón de 10 ml kg⁻¹ de semillas con un formulado comercial (Nitragin Wave® , Novozymes BioAg S.A., Pilar, Buenos Aires, Argentina). Los tratamientos de fertilización se realizaron aplicando 50 kg.ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio (0:46:0) en la línea de siembra y 80 kg.ha⁻¹ de urea (46:0:0) en superficie también en el momento de sembrar. Los controles correspondientes a cada factor de variación (inoculación y fertilización) fueron sin la aplicación del inoculante y de los fertilizantes.

En estadios de pleno macollaje (fin de julio-inicio de agosto), encañazón (mitad de septiembre) y madurez fisiológica (mitad de noviembre) se realizaron cortes de la biomasa aérea de los cultivos en 0,25 m² para determinar, luego de su secado a 70°C en estufa hasta peso constante (aproximadamente 48 h), la producción de materia seca. La evolución de la producción relativa al máximo de la producida (MSR) se ajustó según el siguiente modelo sigmoideo logístico utilizando el programa Statistix 9 (Analytical Software, 2008),

$$MSR (\%) = a [1 + b \exp(-c \times dds)^{-1}]^{-1}$$

Dónde *a*, *b* y *c* son coeficientes del modelo y *dds* los días desde la siembra.

En los mismos momentos de evaluaciones de producción de biomasa y en los tratamientos control sin aplicación de los tratamientos de inoculación y de fertilización y completos con

la aplicación de ambos factores de manejo se tomaron muestras de los suelos en capas de 20 cm de espesor hasta los 200 cm de profundidad para la determinación del contenido total de agua (método gravimétrico). Los contenidos volumétricos de agua se estimaron considerando valores de densidad aparente y de constantes hídricas correspondientes a Haplustoles típicos y Haplustoles énticos representativos de la región (Quiroga et al., 2009). Para la estimación del consumo de agua se consideraron los registros de lluvias durante el ciclo de crecimiento de los cultivos en estaciones agrometeorológicas aledañas a los sitios experimentales (Tabla 2). La eficiencia de uso del agua (EUA) se estimó como el cociente entre la producción total de materia seca aérea evaluada en madurez fisiológica y el total de agua según la diferencia en los niveles de agua del suelo hasta 200 cm de profundidad entre madurez fisiológica y siembra más el total de precipitaciones entre siembra y madurez fisiológica.

Los tratamientos se dispusieron en cada uno de los sitios según un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones en parcelas de al menos 5 m de ancho y 15 m de longitud. Los resultados se evaluaron según análisis de la varianza y pruebas de comparación de diferencias de medias de LSD T. Además, se compararon los parámetros de modelos de regresión (pendiente e intercepción) entre la producción de biomasa de los tratamientos inoculados y el promedio de la comparación

Tabla 1: Caracterización general de los sitios experimentales y propiedades de los suelos en el momento de la siembra de cultivos de cebada. M.O. = materia orgánica (método de digestión húmeda de Walkley y Black), L+A = Limo + Arcilla, Pe = P extractable (método de Bray Kurtz 1).

Table 1: General characterization of experimental sites and soil properties at the time of sowing of barley crops. M.O. = organic matter (Walkley and Black wet digestion method), L + A = Silt + Clay, Pe = Soil extractable P (Bray Kurtz 1 method).

Sitio	Localidad (provincia)	Cultivo antecesor	Tipo de suelo (grupo textural)	0 a 20 cm			0 a 200 cm	
				M.O. (g.kg ⁻¹)	L+A (g.kg ⁻¹)	pH	Pe (mg.kg ⁻¹)	Agua útil (mm)
A	Intendente Alvear (La Pampa)	Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	Haplustol típico (franco arenoso)	21	300	6,1	20	460
B	Buchardo (Córdoba)	Soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill]	Haplustol éntico (arenoso franco)	18	350	5,9	15	250

Tabla 2: Precipitaciones mensuales (mm) durante el ciclo de producción de cebada del 2016 y normal (promedio entre 1982 y 2012) registradas en proximidad a Intendente Alvear (La Pampa, Argentina) y Buchardo (Córdoba, Argentina).

Table 2: Monthly rainfall (mm) during the 2016 barley production cycle and normal (average between 1982 and 2012) recorded in proximity to Intendente Alvear (La Pampa, Argentina) and Buchardo (Córdoba, Argentina).

Sitio	Año	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
A	2016	28	20	42	12	8	55	270	110
	Normal	52	33	19	18	21	35	73	74
B	2016	35	25	41	17	0	55	277	103
	Normal	59	30	19	17	19	40	73	84

considerando cada sitio, momento de evaluación y nivel de fertilización como una observación (Jennrich, 1995; Analytical Software, 2008).

RESULTADOS

La producción de biomasa aérea de cebada varió entre 183 y 3728 kg.ha⁻¹ con diferencias según los momentos de evaluación, los sitios experimentales y los tratamientos de manejo evaluados (Tabla 3). En el sitio A, con textura predominantemente franca y con mayor contenido de materia orgánica, la cantidad de biomasa acumulada en el estadio de madurez fisiológica fue aproximadamente 20% superior que en el sitio B (Tabla 1). Estas diferencias en la producción media de biomasa entre los sitios de producción no se observaron en los estadios de macollaje ni de encañazón (Tabla 3).

En ambos sitios los cultivos fertilizados mostraron, con aportes relativos decrecientes al avanzar los estadios de desarrollo, mayor producción media de biomasa que el tratamiento control (Tabla 3). En los tratamientos con aplicación del inoculante con *Azospirillum brasilense* se observaron aumentos en la producción de biomasa de menor magnitud que los descriptos al fertilizar y con respuestas variables entre los momentos del

desarrollo evaluados (Tabla 3). La inoculación con *Azospirillum brasilense*, en promedio para los tratamientos de fertilización, incrementó 23% la acumulación total de biomasa aérea de cebada y la fertilización, en promedio para los tratamientos de inoculación, mejoró 44% esta producción (Tabla 3).

La evolución en la producción de materia seca se ajustó a modelos sigmoideos logísticos con diferencias en sus coeficientes y estimaciones

Tabla 3: Producción de materia seca aérea (kg.ha⁻¹) durante el desarrollo de cultivos de cebada según tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense* y de fertilización con nitrógeno y con fosforo en dos sitios de la región de semiárida y subhúmeda pampeana. En cada sitio y momento de evaluación, letras diferentes en sentido vertical muestran diferencias entre tratamientos (p <0,10).

Table 3: Production of aerial dry matter (kg.ha⁻¹) during the development of barley crops according to inoculation treatments with *Azospirillum brasilense* and nitrogen and phosphorous fertilization at two sites in the semi-arid and sub-humid Pampas region. At each site and time of evaluation, different letters vertically show differences between treatments (p <0.10).

Sitio	Tratamiento	Macollaje	Encañazón	Madurez
A	Control	271a	1191a	1988a
	Inoculado (I)	387 b	1400ab	2525 b
	Fertilizado (F)	634 c	1641 bc	3014 c
	I + F	777 d	1907 c	3728 d
B	Control	183a	817a	1704a
	Inoculado (I)	331 b	1281 b	2221 b
	Fertilizado (F)	661 c	2138 c	2543 c
	I + F	912 d	2426 d	2943 d

derivadas según los tratamientos evaluados (Tabla 4). La máxima producción de materia seca asintótica (coeficiente a) en el control sin inocular con *Azospirillum brasilense* y sin fertilizar con nitrógeno y con fósforo fue aproximadamente 47% inferior al estimado al aplicar estos tratamientos. La mitad de la máxima producción de biomasa, independientemente de la aplicación de inoculantes, se alcanzó con anterioridad en los tratamientos fertilizados. Este adelantamiento fue de hasta 15 días con respecto a los controles sin fertilizar. El uso de inoculantes también anticipó el momento de producción media en menos de 3 días. En cambio, para alcanzar la máxima acumulación de biomasa estimada en el control sin inocular y sin fertilizar, el ciclo de crecimiento de los cultivos fertilizados e inoculados podría reducirse entre 41 y 74 días.

La producción de biomasa aérea al inocular con *Azospirillum brasilense*, evaluada a partir de la pendiente de las rectas de ajuste lineal, se incrementó al aumentar la productividad media de los cultivos tanto por el aporte de la fertilización como por crecimiento durante su desarrollo (Figura 1, $p < 0,01$). Similar fue el comportamiento observado en la respuesta en producción de materia seca a la fertilización con nitrógeno y con fósforo (Figura 2, $p < 0,01$).

En los dos sitios los cultivos se desarrollaron bajo condiciones de moderadas limitaciones hídricas para el normal crecimiento de los cultivos. En el momento de la siembra, los suelos presentaron niveles próximos a contenidos de agua en capacidad de campo (Tabla 1) y, entre junio y noviembre, las precipitaciones fueron superiores a las normales (Tabla 2). Los contenidos de agua útil durante el desarrollo de los cultivos mostraron variaciones principalmente entre sitios en relación con las diferentes texturas y al ascenso de la capa de agua freática (Figura 3). Los cultivos mostraron un consumo total de agua de entre 398 y 433 mm equivalentes a entre el 90 y el 97% de las precipitaciones registradas durante su ciclo de desarrollo. En promedio para los tratamientos de manejo evaluados, los aportes de las reservas del suelo fueron mayores en el sitio B fueron superiores (6,8%) que en el sitio A (4,0%). En ambos sitios, los cultivos con aplicación de fertilizantes e inoculados con *Azospirillum brasilense* mostraron una mayor contribución proporcional de agua del suelo (6,4%) que los controles sin aplicación de estos tratamientos (4,4%). La eficiencia de uso del agua en los tratamientos sin

Tabla 4: Coeficientes del modelo sigmoideo logístico y parámetros estimados de evolución de la producción de materia seca relativa (MSR) a la máxima producción de cebada según tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense* (I) y de fertilización con nitrógeno y con fosforo (F) en dos sitios de la región de semiárida y subhúmeda pampeana. r = coeficiente de correlación entre valores observados y estimados. dds_{50} = días estimados desde la siembra hasta alcanzar la MSR máxima de cada tratamiento, $dds_{equivalente}$ = días estimados desde la siembra hasta alcanzar la MSR máxima del tratamiento control, $MSR_{166\ dds}$ = MSR estimada a los 166 días de la siembra.

Table 4: Coefficients of the logistic sigmoid model and estimated parameters of evolution of the production of relative dry matter (MSR) to the maximum production of barley according to inoculation treatments with *Azospirillum brasilense* (I) and fertilization with nitrogen and with phosphorus (F) at two sites in the semi-arid and sub-humid Pampas region. r = correlation coefficient between observed and estimated values. dds_{50} = estimated days from planting until reaching the maximum MSR of each treatment, equivalent dds = estimated days from planting until reaching the maximum MSR of the control treatment, $MSR_{166\ dds}$ = estimated MSR at 166 days after planting.

Coefficientes	Control	Inoculado	Fertilizado	I + F
a	57,82	75,25	86,9	106,52
b	152,25	82,07	36,32	23,04
c	0,05	0,045	0,042	0,036
r	0,992	0,992	0,967	0,973
dds_{50}	101	98	86	88
$dds_{equivalente}$	166	125	102	92
$MSR_{166\ dds}$ (%)	56	72	84	100

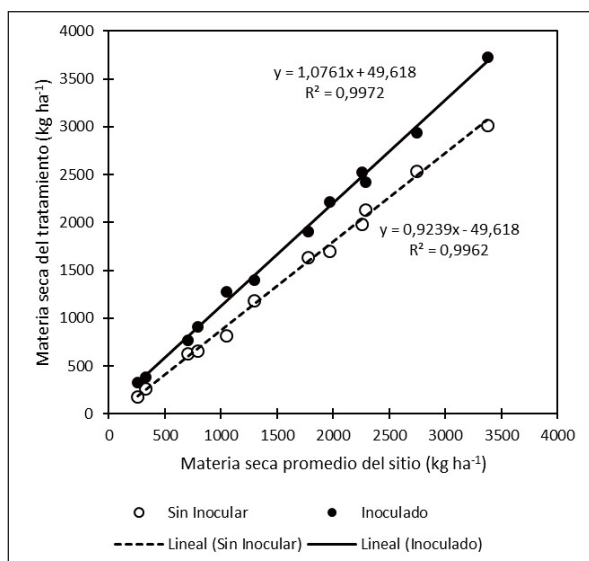


Figura 1: Producción de materia seca aérea de cebada según tratamientos de semillas con *Azospirillum brasilense* (y) y media (x) de dos niveles de fertilización con nitrógeno y con fósforo y tres momentos de evaluación (macollaje, encañazón y madurez fisiológica) en dos sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana

Figure 1: Production of aerial dry matter of barley according to seed treatments with *Azospirillum brasilense* (y) and average (x) of two levels of nitrogen and phosphorous fertilization and three evaluation moments (tillering, grazing and physiological maturity) in two sites of the semi-arid and sub-humid Pampas region

Tabla 5: Consumo y eficiencia de uso de agua en cultivos de cebada según tratamientos de fertilización e inoculación (F+I) en dos sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana. UC: uso consuntivo, EUA: eficiencia de uso del agua, MS: materia seca. En cada sitio, letras minúsculas diferentes en sentido horizontal muestran diferencias entre tratamientos (p<0,10). En cada tratamiento, letras mayúsculas en sentido vertical muestran diferencias entre sitios (p<0,10).

Table 5: Consumption and water use efficiency in barley crops according to fertilization and inoculation treatments (F + I) at two sites in the semi-arid and sub-humid Pampas region. UC: consumptive use, USA: water use efficiency, MS: dry matter. At each site, different lowercase letters horizontally show differences between treatments (p < 0.10). In each treatment, capital letters vertically show differences between sites (p < 0.10).

Sitio	UC (mm)		Aportes del suelo (%)		EUA (kg MS.mm ⁻¹)	
	Sin F+I	F + I	Sin F+I	F + I	Sin F+I	F + I
A	408	398	2,8	5,1	4,9 b A	9,4 a A
B	405	433	10	3,7	4,2 b A	6,8 a B
Promedio	406	416	6,4	4,4	4,5	8,1

fertilización y sin inoculación fue similar en ambos sitios mientras al fertilizar e inocular se observó una mayor producción por unidad consumida de agua en el sitio A que en el sitio B (Tabla 5).

DISCUSIÓN

La producción de biomasa aérea de cebada, en sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana sin limitaciones aparentes en la normal provisión de agua (Tabla 5) está limitada por la oferta de nitrógeno y de fósforo y por otros factores abióticos mitigados al inocular con *Azospirillum brasilense* (Tabla 3). Si bien se reconoce que las respuestas de los cultivos a la inoculación con *Azospirillum* sp. interactúan con condiciones de sitio y de manejo (Veresoglou y Meneses, 2010), en este estudio la contribución de la inoculación fue independiente de fertilización. En promedio los aportes de la inoculación con *Azospirillum* sp. fueron de menores que al fertilizar y con menores respuestas al fertilizar (Tabla 3). Ozturk et al. (2003) y otros autores también describen reducciones en la contribución relativa de la inoculación sobre los rendimientos de trigo al incrementarse la oferta de nitrógeno por fertilización. Estos comportamientos sugieren que inocular en la siembra con *Azospirillum* sp. contribuye en el uso de recursos disponibles al mejorar el crecimiento de las plantas por sobre la incorporación de nutrientes.

En las condiciones de este estudio, la fertilización mostró aumentos de producción en todo el rango de crecimiento de los cultivos mientras que la inoculación con *Azospirillum* sp.

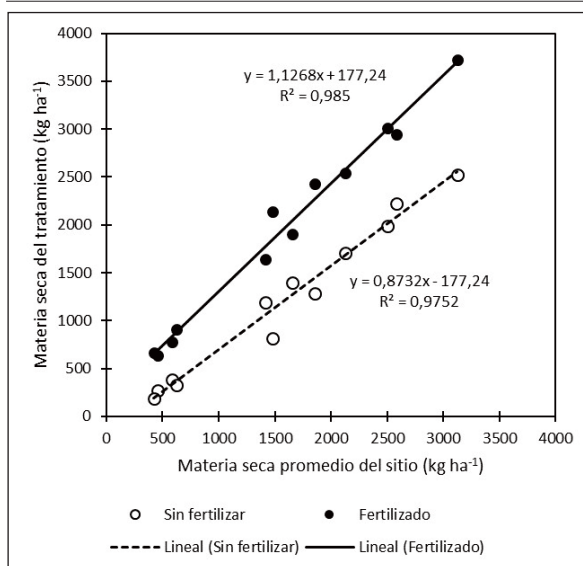


Figura 2: Producción de materia seca aérea de cebada según tratamientos de fertilización con nitrógeno y con fósforo (y) y media (x) de dos niveles inoculación de semillas con *Azospirillum brasilense* y tres momentos de evaluación (macollaje, encañazón y madurez fisiológica) en dos sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana.

Figure 2: Barley aerial dry matter production according to nitrogen and phosphorus fertilization treatments (y) and average (x) of two levels of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and three evaluation moments (tillering, grazing and physiological maturity) in two sites in the semi-arid and sub-humid Pampas region.

aportó principalmente cuando la producción de biomasa aérea fue superior a aproximadamente 1000 kg.ha⁻¹ (Figuras 1 y 2). Es así como, aunque la incorporación del *Azospirillum* sp. es al inicio del cultivo, las diferencias en producción de biomasa aérea son de mayor magnitud entre macollaje y encañazon y hasta madurez (Tabla 3). Este comportamiento sería por el mayor desarrollo de raíces que se observa en cereales inoculados con *Azospirillum* sp. (Okon et al., 2015) aumentando la exploración del suelo y eficiencia de incorporación de recursos durante todo el ciclo de crecimiento de los cultivos.

El consumo de agua fue superior a los requerimientos mínimos estimados para la normal producción de trigo y otros cereales de

invierno (Dardanelli et al., 1997). Los aportes relativos de agua desde los suelos fueron moderados (Tabla 5) dada la abundante y uniforme distribución de las precipitaciones (Tabla 2) y la contribución desde la capa de agua freática en el sitio A (Figura 3). Al mejorar las condiciones de producción (cultivos fertilizados e inoculados) la eficiencia de uso del agua se incrementó, aunque aun así fue inferior a la reportada en la región semiárida para la producción de granos de trigo y de cebada (Noellemeier et al., 2013; Gaggioli et al., 2013). En parte este comportamiento se atribuiría a la abundante oferta de agua diluyendo la disponibilidad efectiva del nitrógeno aplicado al fertilizar y a limitaciones en la disponibilidad de otros nutrientes (ej. azufre, Barraco et al., 2009). Los aportes de la inoculación al crecimiento de cebada también habrían sido limitados dado que la contribución de incorporar *Azospirillum* sp. para la producción de cereales es mayor al disminuir

las precipitaciones (Díaz-Zorita, 2012; Kazi et al., 2016).

CONCLUSIONES

En sitios agrícolas de la región semiárida y subhúmeda pampeana, independientemente de la condición hídrica inicial de los suelos y de la disponibilidad de nutrientes, el tratamiento de semillas con *Azospirillum brasilense* incrementa la producción de biomasa aérea de cebada. Este mayor crecimiento se registra durante todo el ciclo de desarrollo de los cultivos con tasas de acumulación mayores en los estadios de macollaje y de encañazón, Este comportamiento permite incrementar la biomasa aérea total acumulada o anticipar el momento de máxima

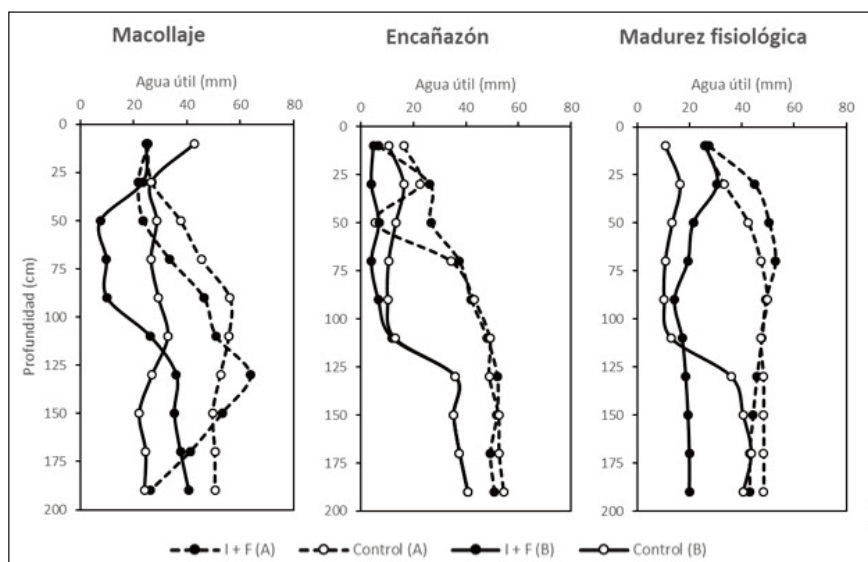


Figura 3: Distribución vertical del agua útil en dos suelos (sitios A con línea punteada y B con línea llena, Tabla 1) de la región semiárida y subhúmeda pampeana durante el desarrollo de inoculados con *Azospirillum brasilense* y fertilizados con nitrógeno y con fósforo (F + I, círculos llenos) y sin la aplicación de ambos tratamientos (Control, círculos vacíos).

Figure 3: Vertical distribution of useful water in two soils (sites A with dotted line and B with full line, Table 1) of the semi-arid and sub-humid Pampas region during the development of inoculated with *Azospirillum brasilense* and fertilized with nitrogen and phosphorus (F + I, full circles) and without the application of both treatments (Control, empty circles).

acumulación comparada tanto al control con o sin fertilización. La inoculación de semillas de cebada con *Azospirillum brasilense* es una práctica recomendable para mejorar la contribución en la producción de cultivos de cobertura invernal y su integración en sistemas agrícolas con especies estivales.

AGRADECIMIENTOS

A la técnica en producción agropecuaria María Barraza y a los ingenieros agrónomos Guillermo Dania y Carlos Lienhard por su colaboración en la instalación y manejo de los sitios experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

Agnusdei, M. G., Colabelli, M. R., y Fernández Grecco, R. C. (2001). Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N°152, INTA EEA Balcarce. 47 p.

Analytical Software (2008). Statistix 9 User's manual. Analytical Software. Tallahassee, FL. USA.

Barraco, M., Díaz-Zorita, M., Brambilla, C., Álvarez, C. y Scianca, C. (2009). Respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada y nitroazufrada en suelos arenosos. *Asociación Argentina de Ciencias del Suelo*, 27(2), 217-224.

Cassán, F. & Díaz-Zorita, M. (2016). *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 117-130.

Dardanelli, J. L., Bachmeier, O. A., Sereno, R. & Gil, R. (1997). Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Research*, 54, 29-38.

Díaz-Zorita, M. y Baliña, R. M. (20-22 de octubre de 2004). Respuesta de verdeos de invierno a la inoculación con *Azospirillum brasilense*. 27° Congreso Argentino de Producción Animal, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

Díaz-Zorita, M. y Gonella, C. (1997). Fertilización nitrogenada de verdeos de invierno en la región suhúmeda pampeana, Argentina. *Archivos latinoamericanos de producción animal*, 5(Supl. 1), 10-12

Díaz-Zorita, M. (2012). Avaliação da produção de milho (*Zea mays* L.) inoculado com *Azospirillum*

- brasilense* na Argentina. In Zagatto Paterniani, M. E. A. G., A. Pereira Duarte y A. Tsunechiro (Eds.), *Diversidade e Inovações na Cadeia Produtiva de Milho e Sorgo na Era dos Transgênicos* (pp. 529-536). Campinas, Brazil: Instituto Agronômico - Associação Brasileira de Milho e Sorgo.
- Díaz-Zorita, M. y Fernández-Canigja, M. V. (2009). Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, 45: 3-11.
- Fernández, R., Frasier, I., Uhaldegaray, M., Oderiz, J., Scherger, E., Noellemeier, E. y Quiroga, A. (2017). Eficiencia en el uso del agua en pasturas en un molisol de la región semiárida pampeana. *Semiárida* 27(1), 19-25
- Gaggioli, C., Quiroga, A. y Noellemeier, E. (2013). Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Semiárida*, 23, 17-26
- Jenrich, R. I. (1995). An introduction to Computational Statistics: Regression Analysis. Prentice Hall, USA, 364 p.
- Kazi, N., Deaker, R., Wilson, N., Muhammad, K. & Trethowan, R. (2016). The response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. *Field Crops Research*, 196, 368-378.
- Kruger, H. y Quiroga, A. (2013). La interface suelo – atmósfera y su valor estratégico en regiones semiáridas. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos y M. Bodrero (Eds), *Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 5-6). Anguil, La Pampa: INTA.
- Noellemeier, E., Fernández, R. y Quiroga, A. (2013). Crop and Tillage Effects on Water Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. *Agriculture*, 3, 1-11
- Okon Y, Labandera-Gonzales, C., Lage, M. y Lage, P. (2015). Agronomic Applications of *Azospirillum* and other PGPR. In F J de Bruijn (ed.). *Biological Nitrogen Fixation* (pp. 925-936) Volume 2. John Wiley & Sons, Inc.
- Ozturk, A., Caglar, O. y Sahin, F. (2003). Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166, 262-266.
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O. y Frasier, I. (2009). Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. Congreso Nacional de Trigo "A Todo Trigo". Mayo. Mar del Plata.
- Raspo, C. y Tassone, L. J. (2016). *Cultivos de cobertura de avena y centeno: efecto de la fertilización nitrogenada y momento de quemado sobre la eficiencia de uso del agua, relación carbono nitrógeno y control de malezas* (Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía UNLPam). Recuperado de http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a_rascul714.pdf
- Servera, M, Zamora, C. D., Quiroga, A., Frigerio, F., Aimar, D. y Abascal, S. (2016). Efecto del momento de quemado de centeno utilizado como cultivo de cobertura sobre propiedades edáficas, malezas y rendimiento de maíz. *Semiárida*, 26(1), 11-18.
- Veresoglou, S. D. & Menexes, G. (2010). Impact of inoculation with *Azospirillum* spp. on growth properties and seed yield of wheat: a meta-analysis of studies in the ISI Web of Science from 1981 to 2008. *Plant Soil*, 337(1), 469-480.