

Estrategias **biológicas** para el manejo de la **nutrición y estrés abiótico** en cultivos ¿Bioinsumos-Biofertilizantes-Inoculantes?

Dr. Fabricio Darío Cassán
Laboratorio de Fisiología Vegetal y de la Interacción planta-microorganismos



Universidad Nacional de Río Cuarto
Instituto de Agrobiotecnología
CONICET-INIAB

CONICET



I N I A B

2023

Existe una gran oferta de **productos biológicos** para Agricultura...!



En la actualidad utilizamos el concepto de **Bioinsumos** para Agricultura...!

Los **Bioinsumos** para agricultura están **reconocidos por el Estado...!**



“Se considera **Bioinsumo** a todo aquel **producto biológico** que contenga o haya sido producido por micro o macroorganismos, extractos o compuestos bioactivos derivados de ellos, y que esté destinado a ser aplicado como insumo en la producción agropecuaria, agroalimentaria, agroindustrial o agroenergética”

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA
Resolución N° 7/2013

MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA
SECRETARÍA DE AGREGADO DE VALOR
Resolución N° 29/2016

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA
SECRETARÍA DE ALIMENTOS, BIOECONOMÍA Y DESARROLLO REGIONAL
Resolución N° 41/2021

En el mundo se reconocen **3 categorías de Insumos biológicos o Bioinsumos...**!

[Los demás conceptos son sinónimos o están incluidos en alguna de éstas categorías]

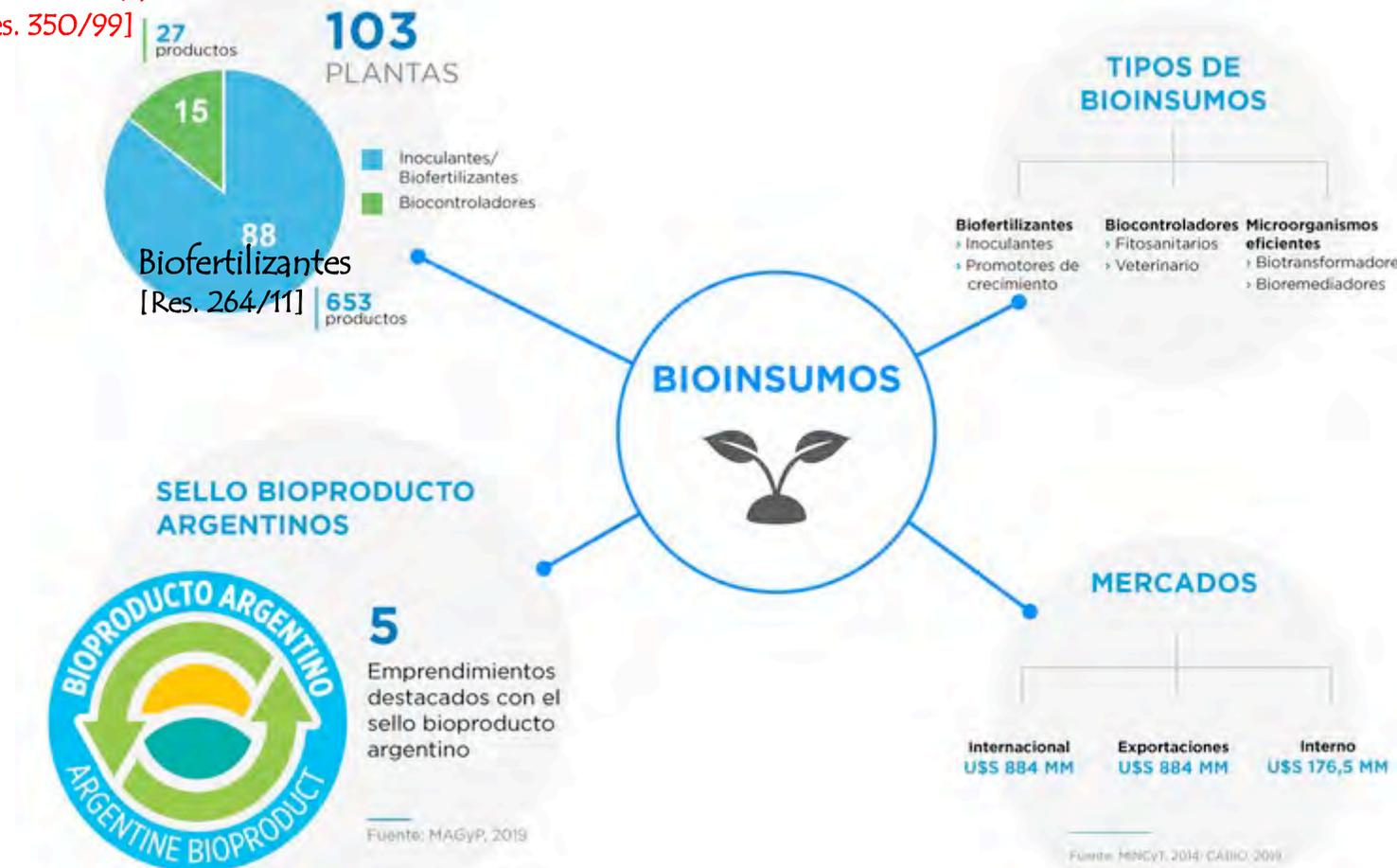


En Argentina los **Bioinsumos** son **Biofertilizantes** o Agentes de **Biocontrol**...!

Los **Bioinsumos** se registran ante el **SENASA** como **Biofertilizantes** o **Biocontroladores**

Biocontroladores

[Res. 350/99]



https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/indicadores/04/index.php

Una mirada a la normativa nacional de **Fertilizantes biológicos...**!

[Fertilizantes-Tipos de productos ] Res. 264/11-SENASA

[**Biofertilizante o fertilizante biológico *sui generis***]

Formulación de origen microbiano que **NO aporta en composición**, nutrientes esenciales para satisfacer las necesidades de los cultivos. Ej: nitrógeno, fósforo, potasio, etc.

Biofertilizante = Inoculante

Para el suelo- Fertiliriego- Foliar

[**Enmiendas Biológicas**]

Modifican favorablemente las características físicas o físico-químicas del suelo sin tener en cuenta su valor como fertilizante. Ejemplos: Té de compost

[**Enmiendas Orgánicas**]

Ejemplos: Ácidos húmicos y fúlvicos, lombricompostos, productos de compostaje, turbas.

[**Acondicionadores Biológicos**]

Modifican en forma positiva la eficacia agronómica mejorando las propiedades físico-químicas del suelo, cultivo y/ o productos pudiendo acompañar a los fertilizantes o enmiendas.

[**Preinoculantes**]

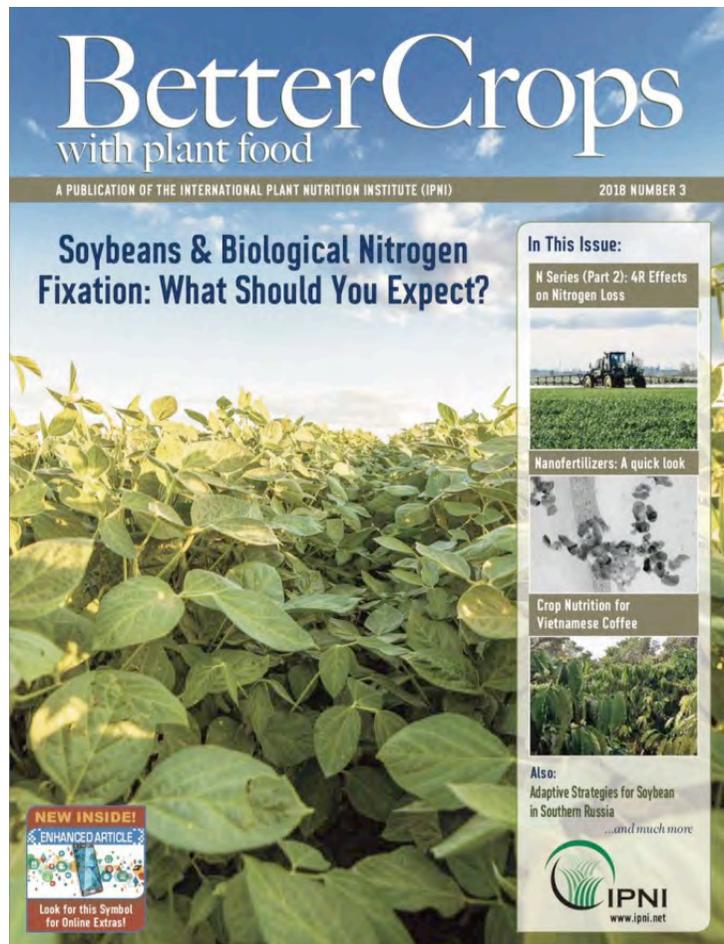
Son productos para el tratamiento anticipado de semillas.

[**Productos preinoculados**]

Ejemplos: Semillas que tienen proceso de revestimiento (coating).

Una mirada al mercado de **bioinsumos**
Biofertilizantes o inoculantes...!

La **producción de soja** y otras leguminosas es **dependiente de la FBN**...!



[u\$s 3-5 dosis.Ha⁻¹ biofertilizante versus u\$s 50-100 Ha⁻¹ fertilizante químico N]

Biofertilizantes para soja en Argentina...!

1. En Argentina se siembran aprox. 20 M Ha de soja de las que **aprox. 18 M Ha se tratan** con aprox. **25-30 M de dosis de biofertilizantes.año⁻¹**.
2. Existen **> 350 productos comerciales** conteniendo *Bradyrhizobium* como principio activo [100 %] registrados por aprox. **120 compañías** de origen nacional y otras de origen extranjero [**7 USA y 3 Brasil**].

Fuente: 2019-SENASA-Argentina  SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

Biofertilizantes para soja en Brasil...!

1. En Brasil se siembran aprox. **40 M Has de soja** que se tratan con aprox. **110 M de dosis.año⁻¹** con un nivel de adopción de la tecnología mayor al 90%
2. Existen aprox. **50 compañías** que producen inoculantes para soja en Brasil [40 ANPII + 10]

Fuente: Solon Araujo 2023-ANPII-Brasil  ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E PROCESSADORES DE INOCULANTES



Total: **135-140.000.000 dosis.año⁻¹** en **60.000.000 Ha**
[u\$s 3-5 dosis]

El mercado se **tecnificó** y **diversificó** en las últimas 2 décadas

Aparecieron **nuevos insumos** asociados a **nuevos mecanismos biológicos** o **principios activos** y demanda para **nuevos cultivos**...!

Los bioinsumos para agricultura están más allá del cultivo de soja...!

Una mirada al mercado de **Biofertilizantes** en América...!

[**Bioinsumos** Tipos de productos]

1. Según el cultivo
[extensivos: soja, maíz o intensivos: tomate, lechuga, otros]
2. Según la naturaleza del soporte
[sólidos, líquidos oleosos, líquidos acuosos]
3. Según la capacidad del microorganismo inoculado
[bio-disponibilizadores de N, P, (otros); inductores de resistencia; inductores de tolerancia o fito-estimuladores]
4. Según el número de microorganismos inoculados
[simples, dobles, triples, complejos]
5. Según el momento y forma de aplicación
[tratamiento de semillas a corto plazo, tratamiento anticipado, línea de siembra, foliares]
6. Según la presencia de aditivos protectores
[sin protector, protector interno, protector externo]
7. Según la presencia de compuestos con actividad biológica
[simples, inducidos, suplementados, complementados]

Una mirada al mercado de **Biofertilizantes** en América...!

[**Bioinsumos** Tipos de productos]

1. Según el cultivo
[extensivos: soja, maíz o intensivos: tomate, lechuga, otros]
2. Según la naturaleza del soporte
[sólidos, líquidos oleosos, líquidos acuosos]
3. Según la capacidad del microorganismo inoculado
[bio-disponibilizadores de N, P, (otros); inductores de resistencia; inductores de tolerancia o fito-estimuladores]
4. Según el número de microorganismos inoculados
[simples, dobles, triples, complejos]
5. Según el momento y forma de aplicación
[tratamiento de semillas a corto plazo, tratamiento anticipado, línea de siembra, foliares]
6. Según la presencia de aditivos protectores
[sin protector, protector interno, protector externo]
7. Según la presencia de compuestos con actividad biológica
[simples, inducidos, suplementados, complementados]

Numerosos **principios activos** para el tratamiento de cultivos de **no-leguminosas**...!



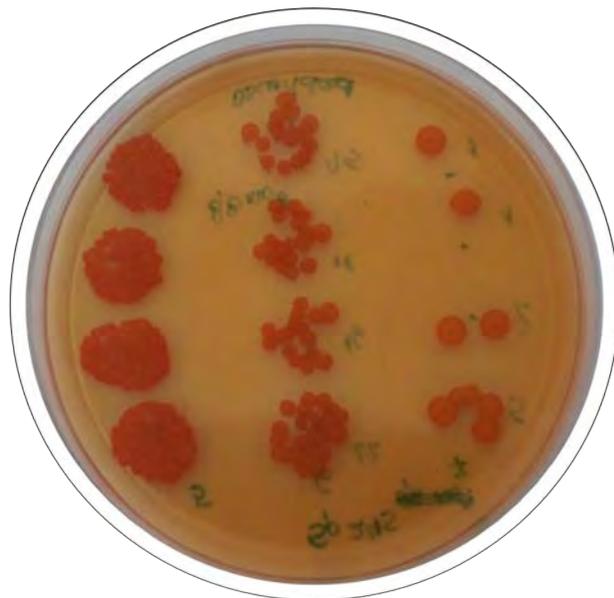
Biofertilizantes



Más de 40 años de estudio/uso agronómico en Argentina. El **primer producto** conteniendo *Azospirillum* fue **registrado** hace **casi 20 años** [1996] y más recientemente en Brasil [2010].

Azospirillum es la rizobacteria más utilizada para Agricultura en Sudamérica [luego de los rizobios] en cultivos de no-leguminosas y en leguminosas por co-inoculación.

Solo 3 especies y 16 cepas recomendadas en America para la formulación de inoculantes



Beijerinck, 1925

Azotobacter largimobile, *Spirillum lipoferum*

27 especies [a la fecha]

Género: *Azospirillum* (Tarrand *et al.* 1979)

Familia: *Azospirillaceae*

Sub-division: alfa-proteobacteria

A. brasilense (Tarrand *et al.*, 1979)

A. baldaniorum (Dos Santos *et al.*, 2020)

New! *A. argentinense* (Dos Santos *et al.*, 2022)

A. lipoferum (Tarrand *et al.*, 1979)

A. amazonense (Magalhaes *et al.* 1983)

A. largimobile (Skerman *et al.* 1983)

A. irakense (Khammans *et al.* 1989)

A. halopraeferans (Reinhold *et al.* 1987)

A. döbereineræ (Eckert *et al.* 2001)

A. oryzae (Xie and Yokota, 2005)

A. melinis (Peng *et al.* 2006)

A. canadense (Mehnaz *et al.* 2007)

A. zeae (Mehnaz *et al.* 2007)

A. rugosum (Young *et al.* 2008)

A. massiliensis (Pagnier, *et al.* 2008)

A. palatum (Zhou, *et al.* 2009)

A. picis (Lin *et al.* 2009)

A. thiophilum (Lavrinenko *et al.* 2010)

A. formosense (Lin *et al.* 2012)

A. humicireducens (Zhou *et al.* 2012)

A. fermentarium (Lin *et al.* 2013)

A. soli (Lin *et al.* 2015)

A. agricola (Lin *et al.* 2016)

A. ramasamyi (Rangasamy *et al.* 2019)

A. griseum (Zhang *et al.* 2019)

A. palustre (Tikhonova *et al.* 2019)



Azospirillum es una de las rizobacterias más estudiadas y utilizadas en Agricultura..!

Microbial Ecology
<https://doi.org/10.1007/s00248-020-01559-w>

NOTE



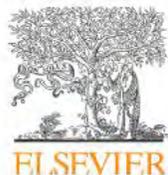
What Do We Know About the Publications Related with *Azospirillum*? A Metadata Analysis

Fabricio Cassán¹ • Gastón López¹ • Sofía Nieves¹ • Anahí Coniglio¹ • Daniela Torres¹ • Florencia Donadio¹ • Romina Molina¹ • Verónica Mora¹

Received: 13 May 2020 / Accepted: 14 July 2020
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2020

Más de 1500 publicaciones en todo el mundo..!

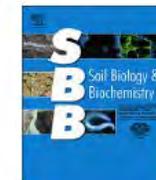
Soil Biology & Biochemistry 103 (2016) 117–130



Contents lists available at ScienceDirect

Soil Biology & Biochemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soilbio



Review paper

Azospirillum sp. in current agriculture: From the laboratory to the field

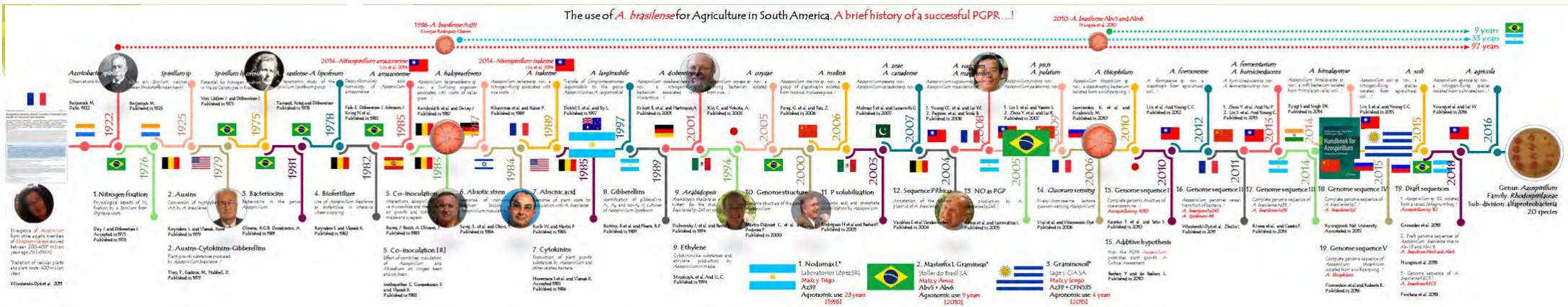


Fabricio Cassán^{a,*}, Martín Diaz-Zorita^b

^a Laboratorio de Fisiología Vegetal y de la Interacción Planta-Microorganismo, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36, Km 601, Campus Universitario, CP 5800, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

^b Technical Development, Monsanto BioAg, Pilar, Buenos Aires, Argentina

Más de 100 productos comerciales en América..!



La línea de tiempo de *Azospirillum* es de casi de 100 años...!
1925–Frederik Beijerinck–The Netherlands

¿Cómo resumir 100 años de información sobre el género *Azospirillum*?–Top 5

1. Es una de las PGPR más estudiadas en los últimos 40 años...!
2. Es una rizobacteria de *vida libre* que *coloniza > 150 especies* de plantas...!
3. Es un modelo de rizobacteria no simbiótica fijadora de N (diazotrófica)
4. Es un modelo de rizobacteria fitoestimuladora del crecimiento
5. Es una de las rizobacterias más utilizadas para la agricultura en América del Sur

Azospirillum es considerado como un colonizador generalizado de raíces..!

Can. J. Microbiol. 43: 103–121 (1997)

***Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990 – 1996)**

Yoav Bashan and Gina Holguin

Can. J. Microbiol. 50: 521–577 (2004)

doi: 10.1139/W04-035

***Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003)**

Yoav Bashan, Gina Holguin, and Luz E. de-Bashan

New host plants for isolation and for inoculation of the bacterium

A broad range of hosts is an obvious advantage for any given beneficial bacterium, eliminating the need for developing many specific crop–bacterial combinations that may confuse growers. In nature, a broad host range may help bacteria survive better. The full host range of *Azospirillum* has not been defined previously. Claims of *Azospirillum* specificity for certain cereal species are documented (see Bashan and Levanony 1990). The data published in recent years, however, show otherwise. *Azospirillum* strains had no preference for crop plants or weeds, or for annual or perennial plants, and can be successfully applied to plants that have no previous history of *Azospirillum* in their roots. It appears that *Azospirillum* is a general root colonizer and is not a plant-specific bacterium.

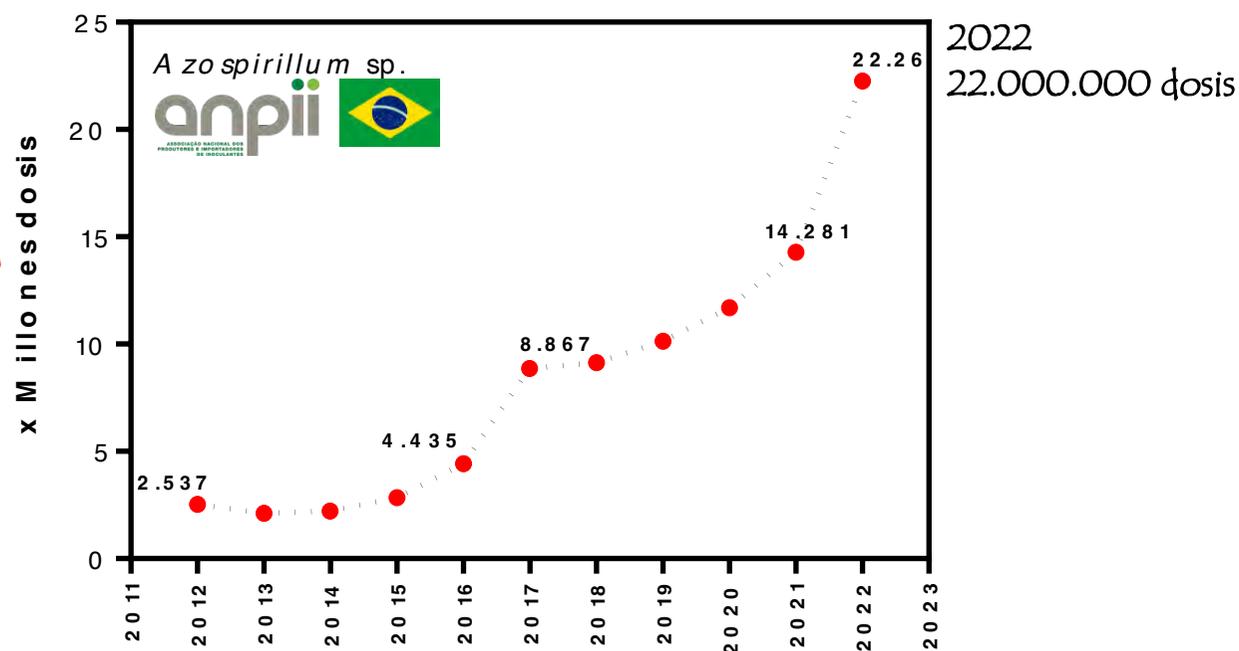
It appears that *Azospirillum* is a universal bacterium found almost everywhere.

1. El rango completo de hospederos incluye **más de 150 especies vegetales**
2. **No tiene preferencias** por especies cultivables o malezas, ni por plantas anuales o perennes y **puede colonizar exitosamente** raíces de especies de plantas **sin antecedentes previos** de inoculación o colonización.

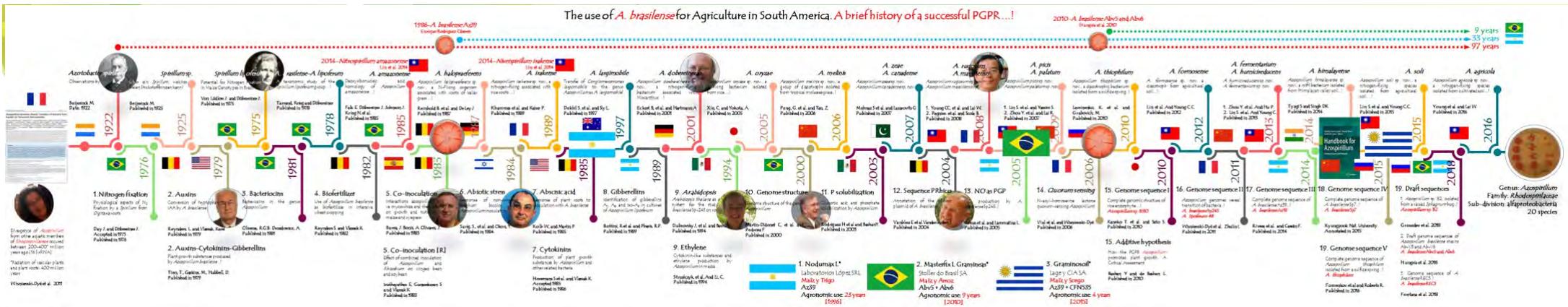
Inoculantes formulados con *Azospirillum* sp. en América del Sur



En 2022 aprox. 25 M de dosis de productos conteniendo *Azospirillum* sp. como principio activo fueron usados en > 1.0 M Has en Argentina y 9.0 MHas en Brasil para el tratamiento de semillas de maíz, soja y otras leguminosas (maní, poroto), trigo, sorgo, girasol, hortalizas, frutales etc.



Total₂₀₂₃: 10.000.000 Has y 23.000.000 dosis de inoculantes
[u\$s 115.000.000]

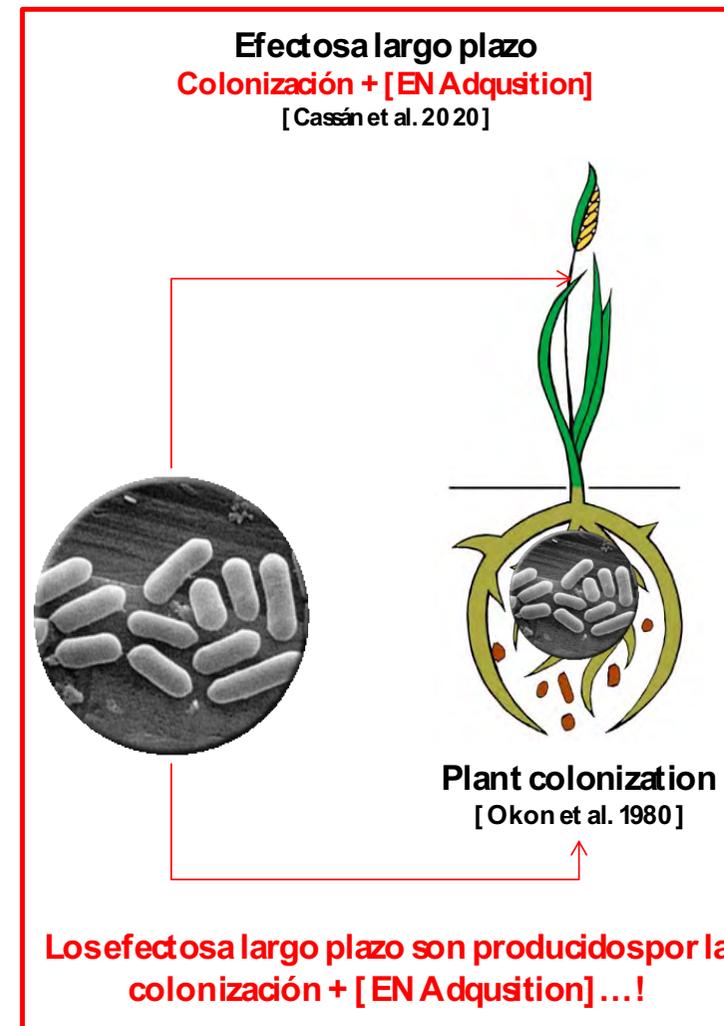
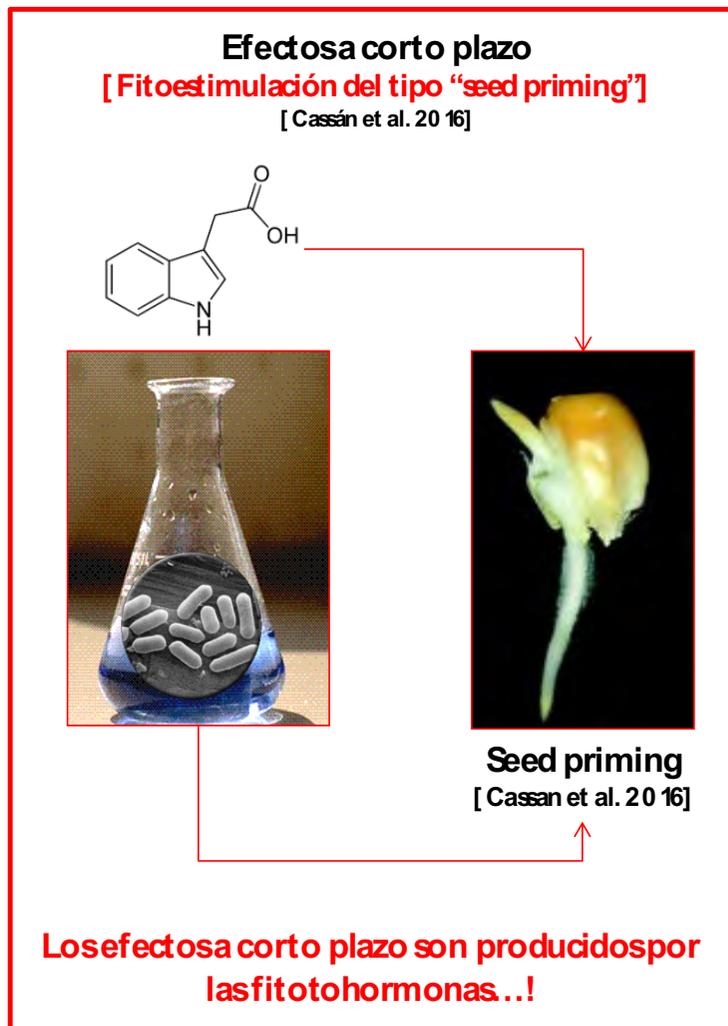


La línea de tiempo de *Azospirillum* es de casi de 100 años...!
 1925-Frederik Beijerinck-The Netherlands

¿Cómo resumir 100 años de información sobre el género *Azospirillum*?-Top 5

1. Es una de las PGPR más estudiadas en los últimos 40 años...!
2. Es una rizobacteria de *vida libre* que coloniza > 150 especies de plantas...!
3. Es un **modelo de rizobacteria** no simbiótica **fijadora de N** (diazotrófica)
4. Es un **modelo de rizobacteria** fitoestimuladora del crecimiento
5. Es una de las rizobacterias más utilizadas para la agricultura en América del Sur

Inoculación con *Azospirillum* y otras rizobacterias fitoestimuladoras..!



Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*

Fabrizio Cassán · Jos Vanderleyden · Stijn Spaepen

Table 2 Overview of plant growth regulators produced in vitro by *Azospirillum* sp.

Class ^a	Hierarchy ^b	Molecules	References
Auxins	1st	IAA, PAA, IBA	Prinsen and others (1993) Martínez-Morales and others (2003) Somers and others (2005)
Gibberellins	4th	GA ₃ , GA ₁ , GA ₉ , GA ₂₀ , GA ₁₉ , GA ₅	Bottini and others (1989) Piccoli and Bottini (1996)
Cytokinins	3rd	iP, iPr, Z, t-Zr	Horemans and others (1986) Esquivel-Cote and others (2010)
Ethylene	5th	Et	Strzelczyk and others (1994)
Abscisic acid	6th	ABA	Kolb and Martin (1985)
Nitric oxide	2nd	NO	Creus and others (2005)
Polyamines	7th	Cad, Spm, Spd, Put	Cassán and others (2009a) Thuler and others (2003a)

IAA indole-3-acetic acid, PAA phenylacetic acid, IBA indole-3-butyric acid, NO nitric oxide, iP isopentenyl adenine, iPr isopentenyl adenine riboside, Z zeatin, t-Zr *trans* zeatin riboside, GA_{3,1,9,20,19} gibberellins n, Et ethylene, ABA abscisic acid, Cad cadaverine, Spm spermine, Spd spermidine, Put putrescine

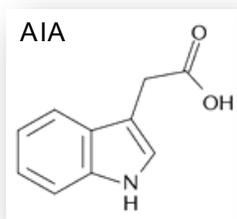
^a Molecules identified from *Azospirillum* sp. liquid cultures by precise methodology (HPLC, GC-MS)

^b Related to the importance of the phytohormonal role in its interaction with the plant considered by the authors based on available evidence

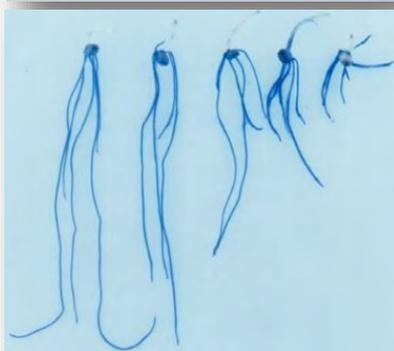
Azospirillum sp. es un modelo de rizobacteria **fitoestimuladora**

La producción de AIA y el efecto en las raíces de plantas no-leguminosas es característico de la inoculación con bacterias del género *Azospirillum*:

↓ de la longitud total y ↑ de la densidad de raíces secundarias y pelos absorbentes



Spaepen et al. 2008



AIA/ ufc.ml⁻¹

Plant Soil (2008) 312:15–23
DOI 10.1007/s11104-008-9560-1

REGULAR ARTICLE

Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants

Stijn Spaepen • Sofie Dobbelaere •
Anja Croonenborghs • Jos Vanderleyden

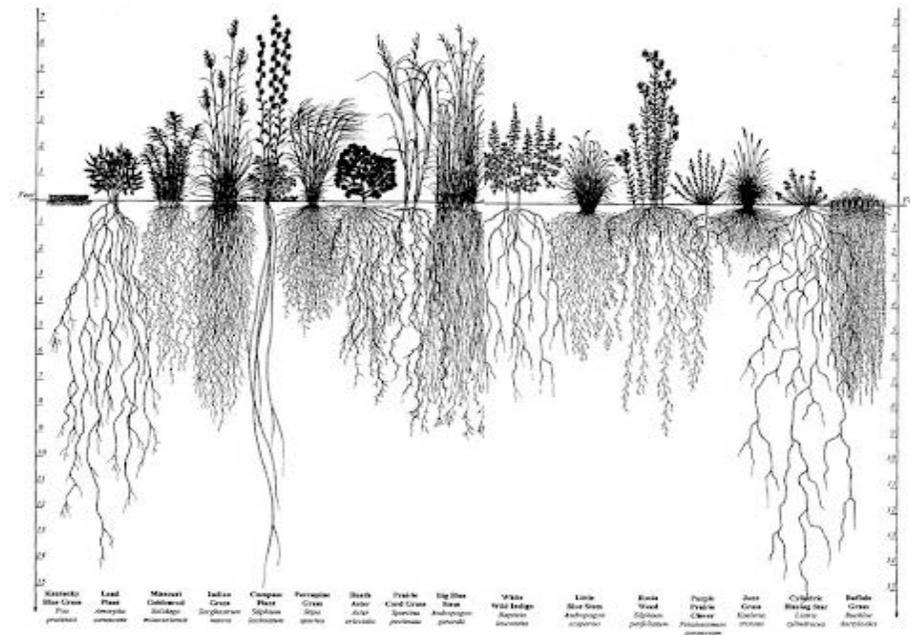
Azospirillum brasilense es la rizobacteria promotora del crecimiento vegetal **mas estudiada por su capacidad de producir moléculas del tipo fitohormonas, principalmente AIA**, cuyo efecto primario se observa a nivel de la arquitectura de las raíces inoculadas.

Existen > 50 publicaciones sobre este modelo.

La **arquitectura de la raíz** tiene un gran impacto en la **vida y supervivencia** de la planta o **productividad** del cultivo
"Especialmente en ambientes sub-óptimos"

La raíz es la "mitad oculta" de las plantas
Waisel et al. (2002)

La parte aérea de la planta es solo...**la punta del iceberg..!**



Las raíces son órganos especializados debido a que:

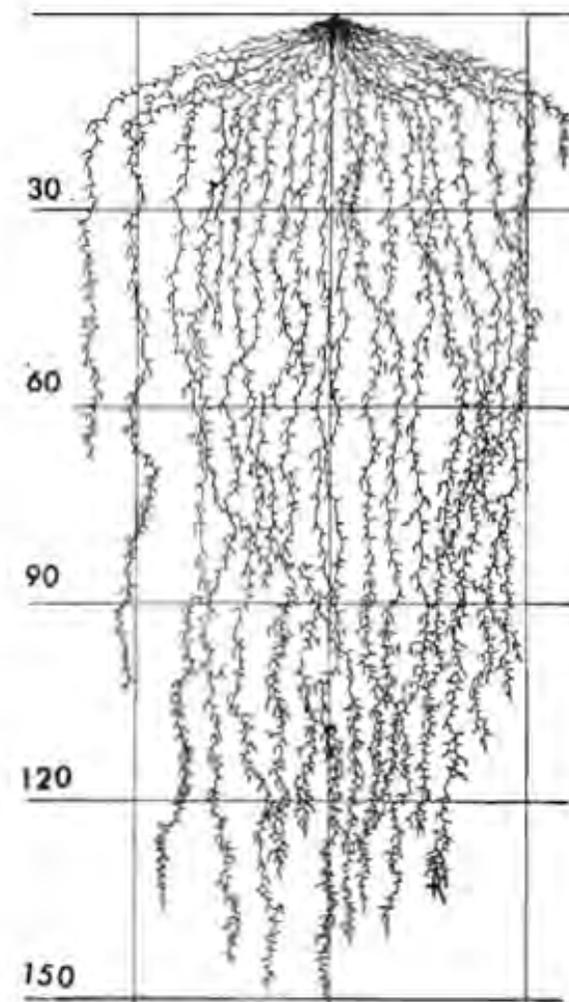
1. **Controlan el estado hídrico de la planta [absorción]**
2. **Controlan la nutrición mineral**
3. **Mantienen interacciones bióticas [parte viva del suelo]**

La raíz y su rol a nivel de la absorción de nutrientes y agua por la planta

Al final de la década de 1930, **Howard J. Dittmer** [USA] examinó el sistema radical de una planta de centeno de 16 semanas de crecimiento

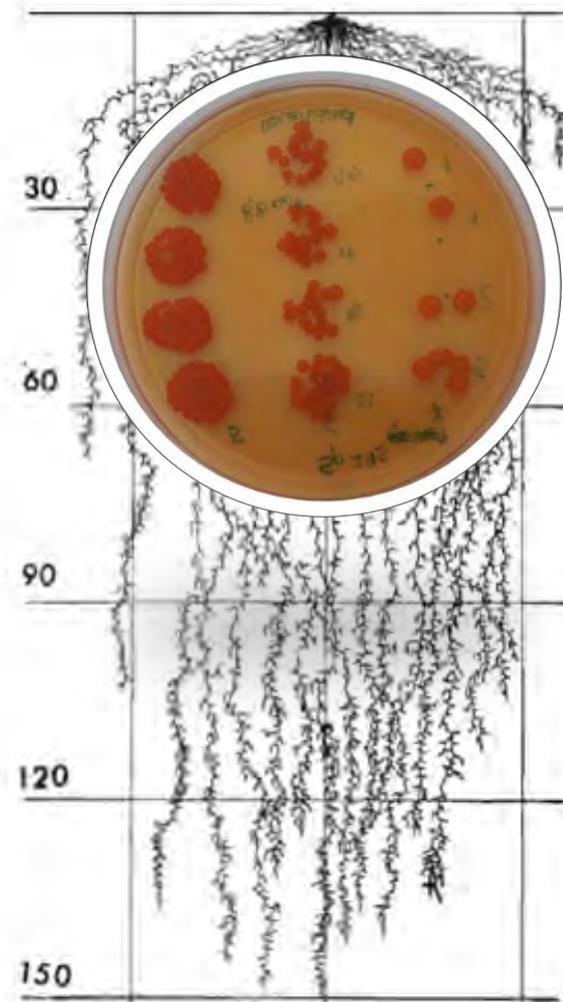
1. Calculó que tenía **13.000.000 de ejes** correspondientes a **raíces primarias laterales** que extendidas de manera lineal y consecutiva alcanzarían **500 km de longitud o 200 m² de superficie**.
2. Esta planta también tendría **1×10^{10} [10.000.000.000]** **pelos radiculares**, proporcionando **300 m²** adicionales de superficie.
3. Las células epidérmicas absorben agua con velocidad similar a la de los PR, por lo que la función principal de los PR sería aumentar la superficie de absorción.
4. El número de PR puede variar desde 20-500 por cm² en las raíces de los árboles hasta 25.000 por cm² en el centeno de invierno.

Tajz and Zeiger, 2018-Fisiología Vegetal



Azospirillum mejora de la absorción de nutrientes y agua por la planta

1. **Aumenta el tamaño y la superficie radical** Kapulnik et al. 1985 b, 1985c; Kolb and Martin 1985; Levanony and Bashan 1989b; Sarig et al. 1988 Bashan 1986; Fallik et al. 1988
2. **Aumenta el número y longitud de raíces laterales, aumenta el volumen radical.** Barbieri et al. 1986, 1988; Kolb and Martin 1985; Morgenstern and Okon 1987a; Tien et al. 1979; Venkateswarlu 1983
3. **Aumenta la producción de biomasa radical** Haqas and Okon 1987; Kapulnik et al. 1981a; Morgenstern and Okon 1987a; Schank et al. 1981; Umali-Garcia et al. 1980)
4. **Aumenta el número y densidad de pelos radiculares.** Haqas and Okon 1987; Kapulnik et al. 1985c; Martin and Glatzle 1982; Morgenstern 1987a; Umali-Garcia et al. 1980; Venkateswarlu 1983
6. Aumenta la división celular en meristemas e induce arreglos celulares en la corteza. Levanony and Bashan 1989b Kapulnik et al. 1985c; Lin et al. 1983
7. Aumenta la producción de exudados. Heulin et al. 1987; Lee and Gaskins 1982



Azospirillum mejora de la absorción de nutrientes y agua por la planta

¿Como se mejora la **nutrición** y **balance hídrico**?

1. **Aumenta** la absorción de macro NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^- , K^+ y micro nutrientes Rb^+ , Mn^+ , Cu^{+2} , Zn^{+2} y Fe^{+3}

Barton et al. 1986; Jain and Patriquin 1984; Kapulnik et al. 1985b; Morgenstern and Okon 1987; Murty and Ladha 1988; Lin et al. 1983; Sarig et al. 1988; Galindo et al. 2019 (ver otros trabajos)

2. Aumenta la absorción de **agua** y **cambia el estado hídrico**.

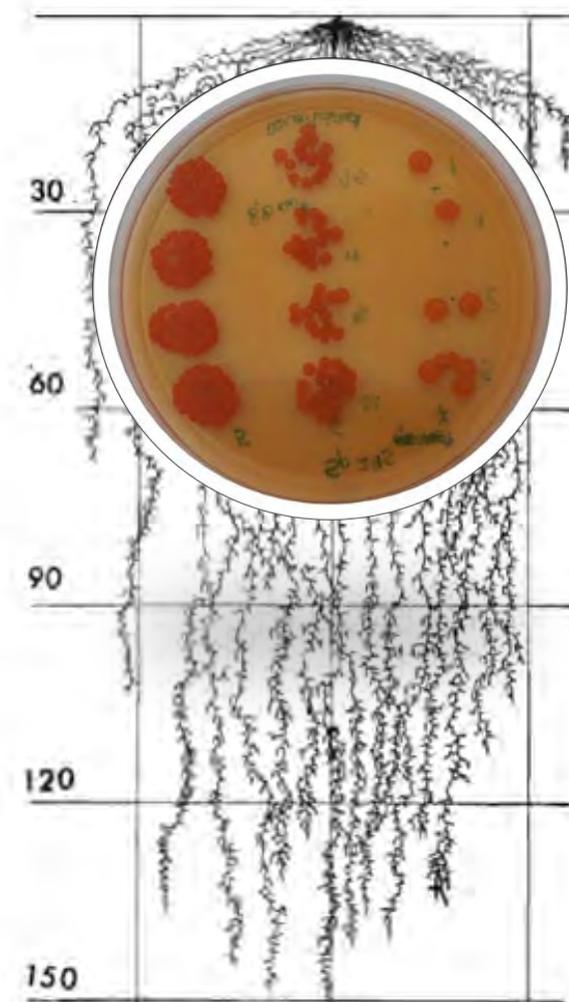
Sarig et al. 1988; Bashan and de Bashan 2010 (ver otros trabajos)

Hipótesis 1. El **aumento** de la absorción se debe a un **aumento general de la superficie radicular (fitoestimulación)** y **no** a una mejora específica del mecanismo de absorción

Morgenstern and Okon 1987; Murty and Ladha 1988; Bashan and de Bashan (ver otros trabajos citados)

Hipótesis 2. El aumento se debería a un incremento de la actividad H^+ -ATPasa en las raíces inoculadas.

Lin et al. 1983; Bashan 1990-1991; Bashan et al. 1989.

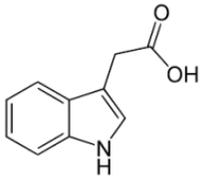


El **aumento** de la absorción de agua y nutrientes por la planta se deben a **cambios generalizados en su arquitectura radicular**

Pero no todo depende de la biosíntesis de fitohormonas
...y la bacteria juega un papel determinante

Azospirillum modifica el crecimiento *in situ* y por fitoestimulación

Efectosa corto plazo
[Fitoestimulación del tipo "seed priming"]
[Cassán et al. 20 16]





Seed priming
[Cassán et al. 20 16]

Los efectos corto plazo son producidos por las fitohormonas...!

APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, May 1979, p. 1016-1024
0099-2240/79/05-1016/09\$02.00/0

Vol. 37, No. 5

Plant Growth Substances Produced by *Azospirillum brasilense* and Their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.)†

T. M. TIEN,¹ M. H. GASKINS,² AND D. H. HUBBELL³

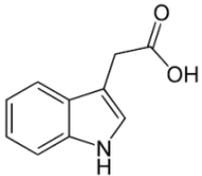
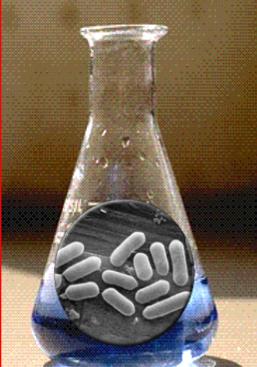
Department of Soil Science,^{1,3} and Department of Agronomy and U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Agricultural Research,² University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, Gainesville, Florida 32611



Tien...Las fitohormonas tienen efecto efímero
Nos...La bacteria es necesaria para obtener los cambios más significativos...!

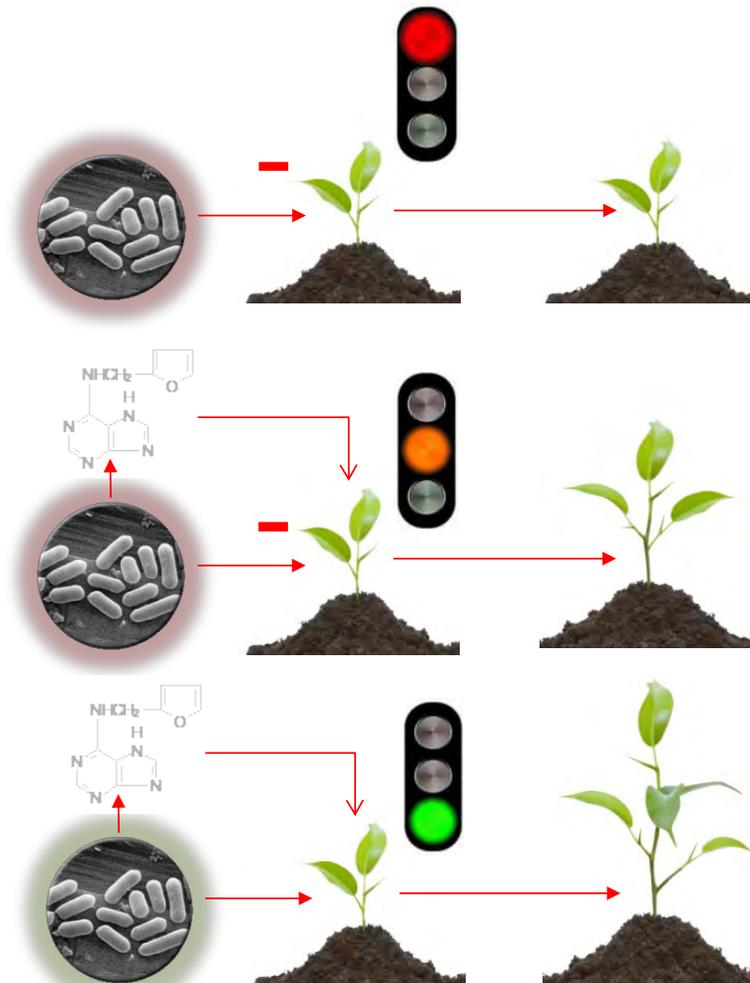
Azospirillum modifica el crecimiento *in situ* y por fitoestimulación

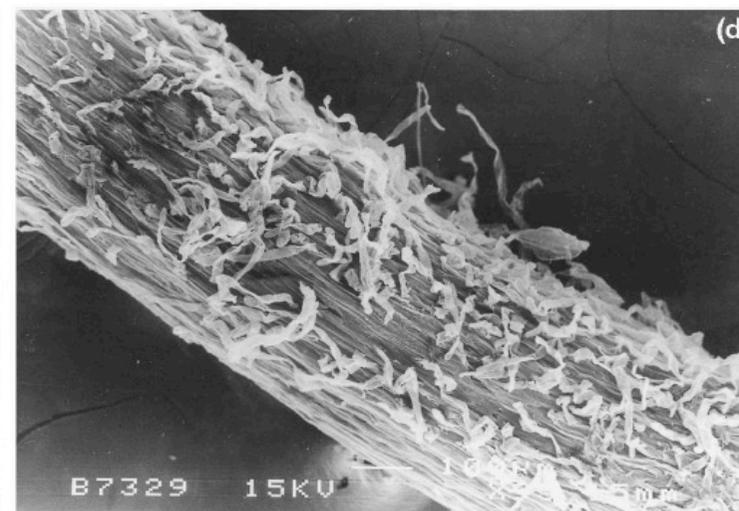
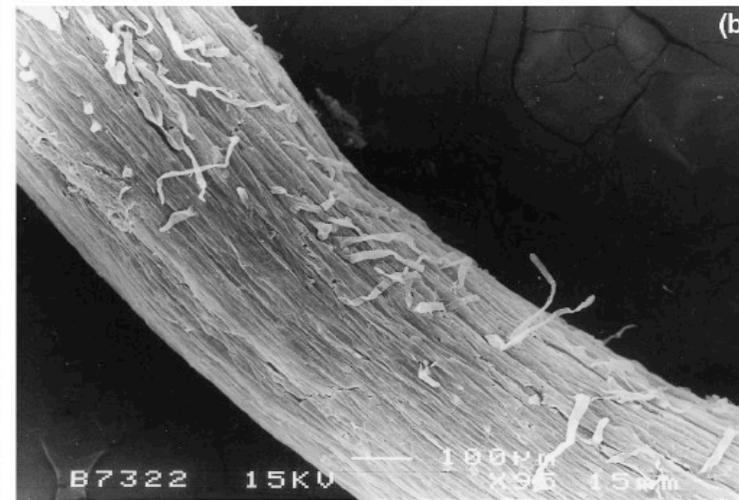
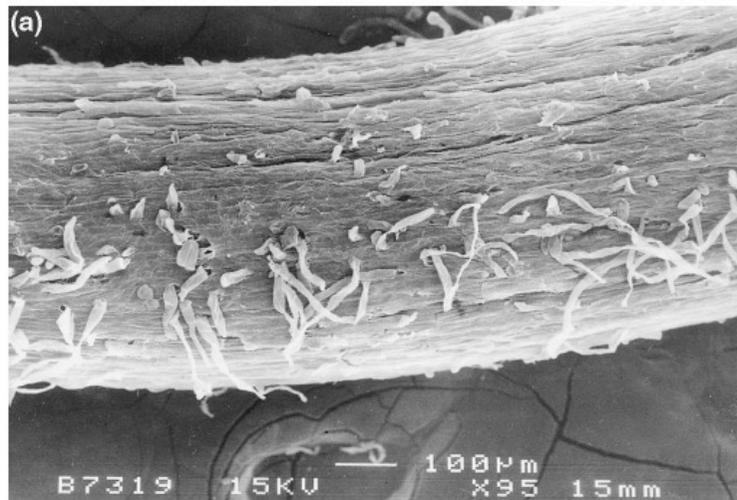
Efectosa corto plazo
[Fitoestimulación del tipo "seed priming"]
[Cassán et al. 20 16]

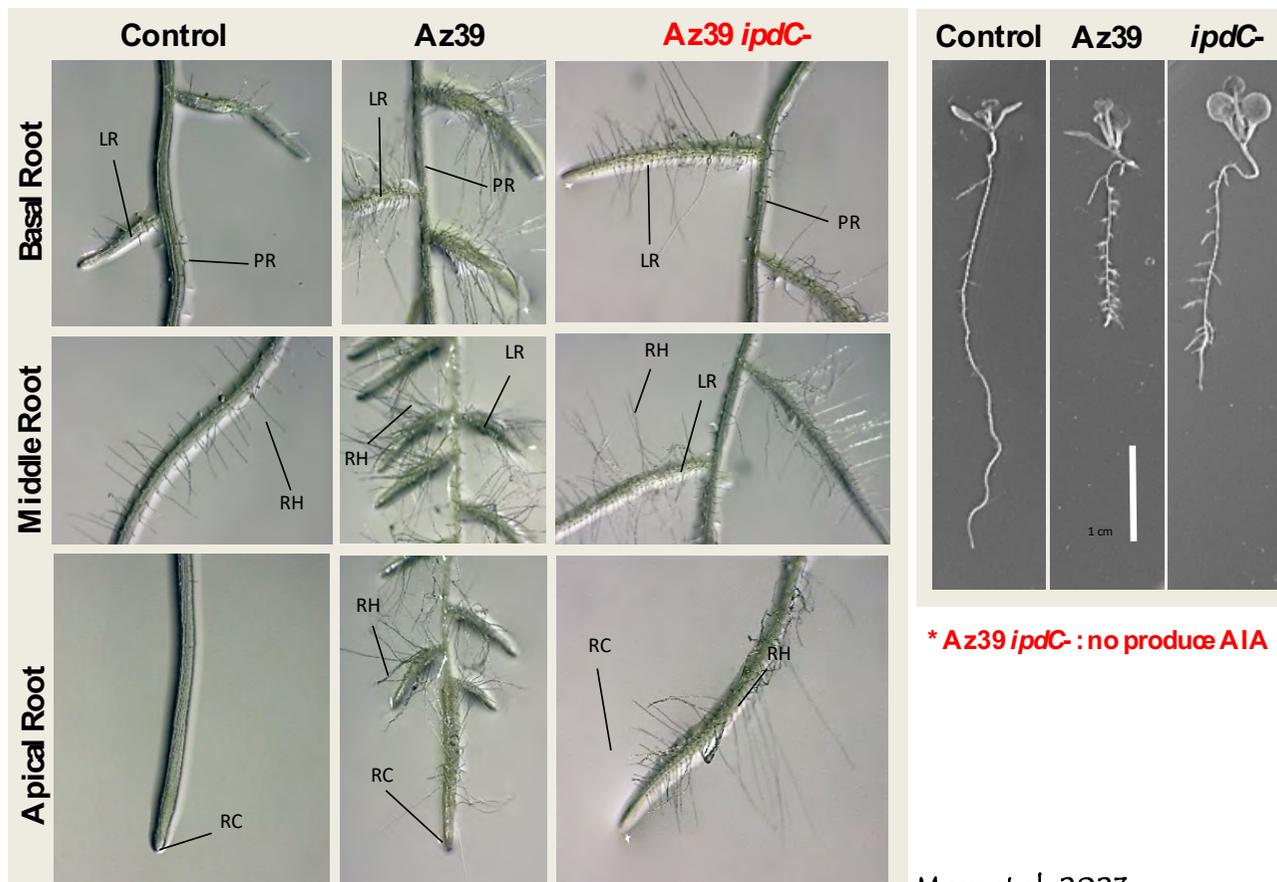

Seed priming
[Cassán et al. 20 16]

Los efectos corto plazo son producidos por las fitotohormonas...!





La co-inoculación con *Azospirillum* en especies de no-leguminosas..!



Mora et al. 2023

La inoculación con *Azospirillum* genera cambios significativos en la raíz, tales como: reducción de la raíz principal y el aumento del número y longitud de raíces laterales y pelos radiculares.

Estos cambios dependen de [1] biosíntesis de IAA y [2] presencia de la bacteria en contacto con la raíz.

La co-inoculación con *Azospirillum* en especies de no-leguminosas..!

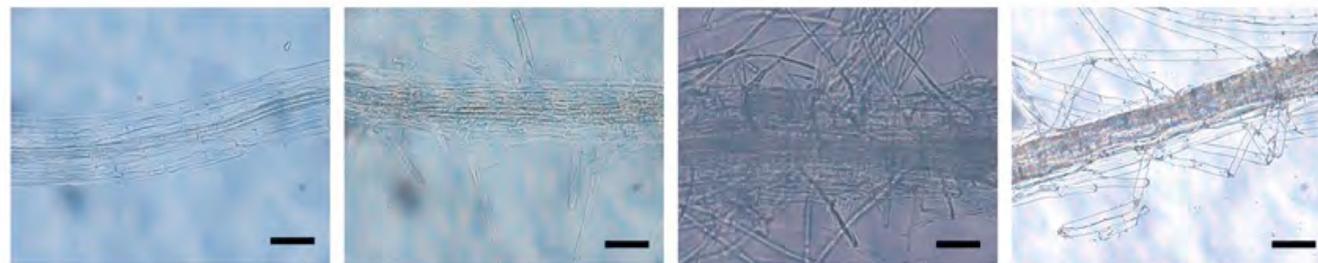
Journal of Plant Growth Regulation (2022) 41:2992–3008
<https://doi.org/10.1007/s00344-021-10490-4>



The Polar Flagellin of *Azospirillum brasilense* REC3 Induces a Defense Response in Strawberry Plants Against the Fungus *Macrophomina phaseolina*

Juliana M. Elías¹ · Alberto Ramírez-Mata² · Patricia L. Albornóz³ · Beatriz E. Baca² · Juan C. Díaz-Ricci⁴ · Raúl O. Pedraza¹

Received: 1 January 2021 / Accepted: 6 September 2021 / Published online: 15 September 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2021



H₂O

Flag 200 nM

Flag 1 uM

Az39 10⁸ CFU.ml⁻¹

La inoculación con *Azospirillum* genera cambios significativos en la raíz, tales como: reducción de la raíz principal y el aumento del número y longitud de raíces laterales y pelos radiculares.

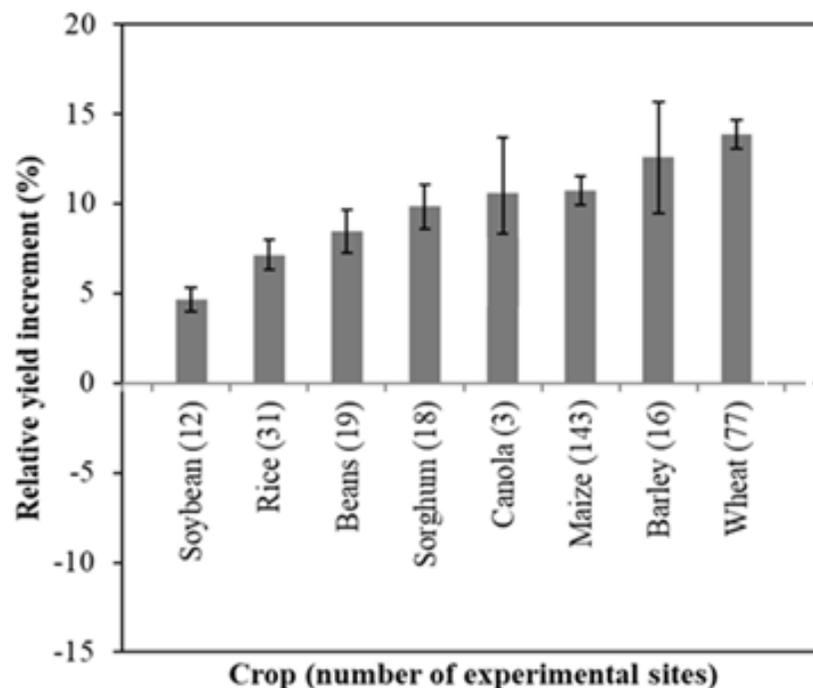
Estos cambios dependen de [1] biosíntesis de IAA y [2] la bacteria en contacto con la raíz [flagelina].

¿Como impacta este modelo biológico en el **desarrollo y productividad** de cultivos?

Vamos a realizar un poco de ingeniería inversa..!

¿Es *Azospirillum* agrónomicamente efectivo?

Análisis de metadata



El **aumento en el rendimiento** del cultivo por la inoculación **con *Azospirillum* sp.** ocurre entre **un 4-14%** dependiendo del tipo de cultivo y de las condiciones particulares de cada ensayo.

Cereales de invierno: 12-14%

Cereales de verano: 6-10%

Leguminosas 4-8%*



* Por encima del tratamiento con rizobios

La **frecuencia de éxito es > 80%***

*Rizobios es > 80% y con 10% de incremento

Incremento en el rendimiento de cultivos como maíz, trigo, cebada, canola, sorgo, arroz, poroto, soja y otras especies inoculadas con *Azospirillum* sp.

Análisis de metadata de un promedio de más **350 sitios experimentales** obtenidos de **12 países** y más de 50 artículos científicos publicados en todo el mundo.

Received: 9 February 2022 | Accepted: 13 June 2022

DOI: 10.1002/agj2.21150

Agronomy Journal

ARTICLE

Soil Fertility and Crop Nutrition

Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*

Mariangela Hungria^{1,2} | Julierme Zimmer Barbosa³ | Artur Berbel Lirio Rondina^{1,2} |
Marco Antonio Nogueira^{1,2}

Se realizaron 30 ensayos en 13 sitios experimentales durante 10 años, comparando maíz no inoculado e inoculado con *Azospirillum* que recibieron 0, 50, 75 y 100% (90 kg ha⁻¹) de fertilización N (urea) aplicado como complemento 35 d después de la emergencia.

1. El maíz requiere fertilizantes nitrogenados, pero es factible reemplazarlos parcialmente por la inoculación con *A. brasilense*
2. Los resultados de 30 ensayos de campo indican la posibilidad de reemplazar hasta el 25% del fertilizante nitrogenado por la inoculación.
3. Los beneficios fueron observados en diferentes condiciones agronómicas: diferentes niveles de rendimiento, condiciones subtropicales/tropicales, suelos arcillosos/arenosos y bajos/altos niveles de C orgánico en el suelo.
4. El reemplazo podría ahorrar u\$s 15 ha⁻¹ y evitar la emisión de 236 kg de CO₂-e ha⁻¹.

Azospirillum mejora la absorción de AGUA y NPK [Macronutrientes]

Ejemplo 2

Revista Brasileira de Milho e Sorgo

Junio 2020

DOI: 10.18512/rbms2020v19e1152

Azospirillum brasilense FAVORS MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND NUTRIENT ACCUMULATION IN MAIZE CULTIVATED UNDER TWO WATER REGIMES

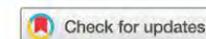
Abstract : The use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) is an important and promising tool for sustainable agriculture. The objective of this study was to evaluate the morphophysiological responses and nutrient uptake of maize plants inoculated with *A. brasilense* under two water conditions. The experiment was carried out in a greenhouse with ten treatments: five *A. brasilense* inoculants (Control, Az1, Az2, Az3 and Az4) inoculated in the seed and two water conditions - irrigated and water deficit. Treatments with water deficit were imposed at the V6 stage for a period of 15 days. The morphophysiological characteristics, gas exchange, root morphology, shoot, root and total dry matter, as well as nutrient analysis, were evaluated after water deficit. *Azospirillum brasilense* (Az1, Az2, Az3 and Az4) increased growth (height 10.5%, total dry weight 20%), gas exchange (Ci= 6%) and nutrient uptake (N= 19%, P= 20%, K= 24%) regarding control under irrigation conditions. Inoculation by Az1 and Az3 benefited the root architecture of maize plants, with a greater exploitation of the soil profile by these roots. Water deficit caused a reduction in the development of maize plants. Inoculation by Az1, Az2 and Az3 can improve plant growth, nutrient uptake and mitigate the effects of water deficit in the development of maize plants.

Keywords: *Zea mays* L.; Water deficit; WinRhizo; Leaf area; Rhizobacteria.

1. *A. brasilense* aumentó el crecimiento y absorción de macronutrientes (N=19%, P=20%, K=24%) respecto al T sin inocular en las 2 condiciones evaluadas (riego/secano).
2. La inoculación mejoró la arquitectura radicular de las plantas y la explotación del perfil del suelo.
3. *A. brasilense* mejoró la respuesta de la planta a las condiciones de baja disponibilidad hídrica.

Azospirillum mejora la absorción de N y micronutrientes Ejemplo 3

COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS
<https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1667369>



Micronutrient Accumulation with *Azospirillum Brasilense* Associated with Nitrogen Fertilization Management in Wheat

Fernando Shintate Galindo, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Salatiér Buzetti,
José Mateus Kondo Santini, Rafael Montanari, Leandro Alves Freitas,
and Willian Lima Rodrigues

Department of plant health, rural engineering, and soils (DEFERS), São Paulo State University (UNESP), Ilha Solteira,
SP, Brazil

Se evaluaron diferentes fuentes y dosis de N asociadas a la inoculación con *A. brasilense*, a nivel de la acumulación de micronutrientes y rendimiento de trigo. Se utilizaron 2 fuentes de N (urea y urea con triamida N-(n-butyl) tiofosfórica (NBPT) y 5 dosis de fertilización (0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹)

1. La inoculación con *A. brasilense* proporcionó una mayor acumulación de los microelementos Cu, Fe, Mn y Zn en tejido vegetativo, así como Mn y Zn en granos.
2. La inoculación con *A. brasilense* asociada hasta 150 kg ha⁻¹ de N proporcionó un aumento del rendimiento en trigo en comparación con el tratamiento fertilizado.



Article

Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Doses Improves Wheat Productivity and Nitrogen Use Efficiency

Rafaela Neris Gaspareto ¹, Arshad Jalal ¹, William Cesar Nishimoto Ito ¹, Carlos Eduardo da Silva Oliveira ¹,
Cássia Maria de Paula Garcia ¹, Eduardo Henrique Marcandalli Boleta ², Poliana Aparecida Leonel Rosa ¹,
Fernando Shintate Galindo ³, Salatiér Buzetti ¹, Bhim Bahadur Ghaley ⁴
and Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho ^{1,*}

Se evaluó el efecto de la fertilización nitrógenada y asociada a la inoculación o co-inoculación con *Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis* a nivel del rendimiento, eficiencia en el uso de N y recuperación del N aplicado como fertilizante.

1. La co-inoculación aumentó el contenido y la acumulación de N, el número de espigas, y el rendimiento, independientemente de la dosis de N aplicada.
2. Los mejores resultados se observaron a una dosis de 80 kg/ha.
3. La recuperación del N aplicado aumentó por la co-inoculación a dosis crecientes de N.
4. En resumen... la fertilización con N puede ser reducida por la co-inoculación en trigo

Azospirillum mejora de la absorción de N y micronutrientes

+ Ejemplos

Nutr Cycl Agroecosyst (2021) 120:205–221
<https://doi.org/10.1007/s10705-021-10149-2>



ORIGINAL ARTICLE

Journal of Plant Growth Regulation
<https://doi.org/10.1007/s00344-021-10356-9>



Improvement of Maize Yield by Foliar Application of *Azospirillum brasilense* Az39

Paula Cardozo¹ · Albana Di Palma¹ · Soledad Martin¹ · Cecilia Cerliani² · Gabriel Esposito² · Herminda Reinoso¹ · Claudia Travaglia¹

Received: 19 October 2020 / Accepted: 12 March 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2021

Inoculation with *Azospirillum brasilense* in corn cultivated on cover crops and nitrogen doses

Charleston S. Lima¹ · Camila Ceolin³ · Djenifer Muller⁴ · Juliana Lima³ · Maison Zancan² · Joanei Cechin⁵ · Rosana Tascheto Vey¹ · Gerusa Massuquini Conceição⁴ · Paulo Sergio Pavinato⁶ · Thomas Newton Martin¹

Received: 13 May 2022 / Accepted: 8 August 2022
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2022

Conclusiones y consideraciones finales

1. El género *Azospirillum* es uno de los más estudiados y utilizados en agricultura en los últimos 40 años [práctica consolidada] y su impacto en cultivos depende de la capacidad bacteriana de modificar la absorción de agua y nutrientes por la raíz.
2. Esta capacidad se debe a la presencia de hormonas y a la presencia física de la bacteria en i [gelina].
3. La inoculación con *Azospirillum* reduce el costo de fertilización nitrogenada en promedio hasta en un 50% [el tipo de fertilizante, etc.].
4. La inoculación con *Azospirillum* reduce el costo de fertilización nitrogenada en promedio hasta en un 50% [u\$s 15/ha (1,2 billones de dólares por año en la reducción en la aplicación de fertilizantes nitrogenados y evitar la emisión de 236 kg de CO₂-e ha⁻¹ a la atmósfera [oportunidad en el mercado de bonos de carbono]].
5. La inoculación con *Azospirillum* mejora la absorción de agua y la acumulación de macro [NPK] y micronutrientes [Cu, Fe, Mn, Zn], tanto en tejido vegetativo como reproductivo [granos].



Genome-based reclassification of *Azospirillum brasilense* Az39 as the type strain of *Azospirillum argentinense* sp. nov.

Natália dos Santos Ferreira^{1‡}, Anahí Coniglio^{2‡}, Mariana Puente³, Fernando Hayashi Sant'Anna⁴, Guillermo Maroniche⁵,
Julia García³, Romina Molina², Sofia Nievas², Camila Gazolla Volpiano⁶, Adriana Ambrosini⁶, Luciane M. P. Passaglia⁶,
Raul O. Pedraza⁷, Verônica Massena Reis⁸, Jerri Édson Zilli^{8,*}, † and Fabricio Cassan^{2,*}, †



MUCHAS GRACIAS!

