



# IV Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos.

25 y 26 de Septiembre de 2019, Córdoba.

## ***Integración de los bioinsumos en los sistemas agrícolas modernos***

*Martín Díaz-Zorita*

# La producción agrícola global

## INCREMENTO *poblacional*

4.4B



1980

7.1B



HOY

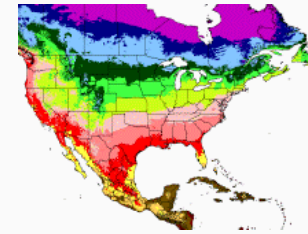
9.6B+



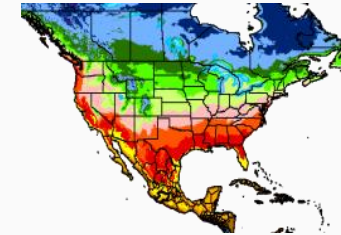
2050

Source: <http://esa.un.org/unpd/wpp/>

## CAMBIO *climático*



1990



2012

Source: US Third National Climate Assessment (2013)

## REDUCCIÓN *de tierras arables*



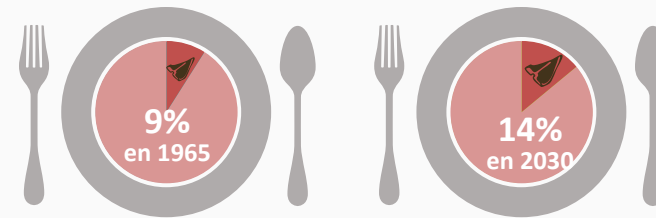
1/2 HA  
por persona en  
1961



menos de  
1/6 HA  
por persona en  
2050

Source: The World Bank, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-STAT), Monsanto Internal Calculations

## CAMBIO *economías y dietas*



+ Proporción de carne en las dietas

Source: UN FAO Food Balance Sheet, World Health Organization "Global and regional food consumption patterns and trends"

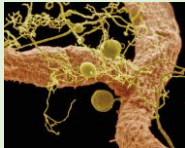
## Ambientes en regiones semiáridas/subhúmedas

- **Lluvias escasas y variables** que no cubren las necesidades de crecimiento de la vegetación durante todo el año.
  - Producción biológica baja limitada por agua.
  - Suelos frágiles limitados en aportes de materia orgánica
    - Alto riesgo de deterioro por procesos naturales y antrópicos (Erosión eólica e hídrica).
    - Fertilidad (aporte y ciclado de nutrientes) moderada.
- Reconocidos beneficios de la **diversificación e intensificación** de sistemas productivos.
- Sistemas agrícolas sustentados en **planteos dinámicos** (adaptación a condiciones ambientales variables) integrando tecnologías de procesos (estructura de cultivos) y de insumos (nutrición, protección, etc.).
  - Resultados variables en interacción con la economía del agua (suelo + precipitaciones).

¿ cómo contribuye el manejo de la diversidad e intensificación biológica?



# LOS MICROAGRICULTORES

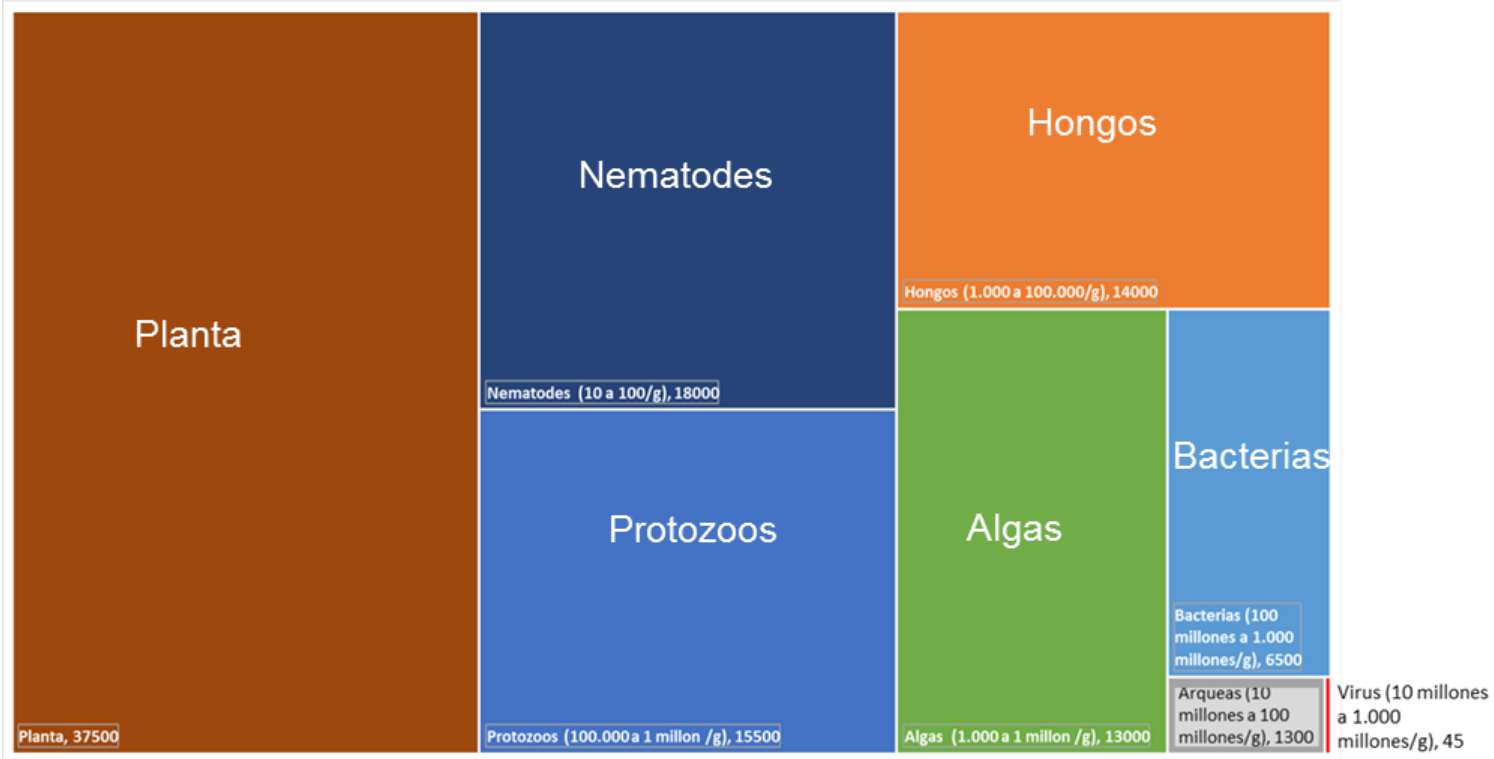


Los científicos están descubriendo miles de microbios que ayudan a las plantas a sobrevivir y prosperar. **¿pueden estos simbiosntes ayudar también a la agricultura?**

Jop de Vrieze - 2015. *SCIENCE* VOL 349 ISSUE 6249

## EL MUNDO SUBTERRANEO

Microorganismos viviendo en y alrededor del sistema de raíces de las plantas.  
(según “tamaños” por número de genes)

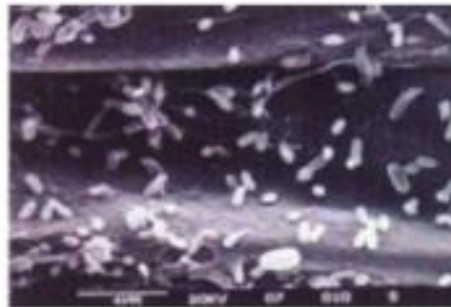


- ✓ Los microorganismos son naturalmente responsables de gran parte del funcionamiento de los agroecosistemas.

### Roles de los microorganismos en la nutrición y en el crecimiento de las plantas

#### Directos

- Fijación de nitrógeno.
- Mineralización de formas orgánicas.
- Solubilización de elementos no disponibles.



#### Indirectos

- Producción de hormonas y factores de crecimiento.
- Protección contra patógenos.



Rizobios-leguminosas (soja) = FBN

Al inocular promoción selectiva de la rizosfera mejorando la expresión de la simbiosis

(Zhong y col. 2019)

100 mil a 10 millones/g **descomponedores** (liberación de N inorgánico)

Coyne, 1999

10% de la población microbiana **solubilizadores** de minerales

Smith y Read, 1997

Factores catalíticos del crecimiento de raíces

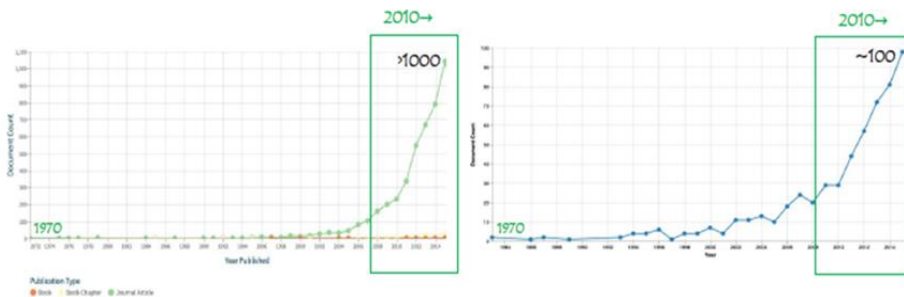
- Dobbelaere y col. 2003

# Bioinsumos. Creciente intensificación de investigaciones

“...muchos productos farmacéuticos fueron extraídos desde el suelo, pero para la agricultura, este potencial fue escasamente explotado”

Denise Manker (Co-fundadora de Serenade)

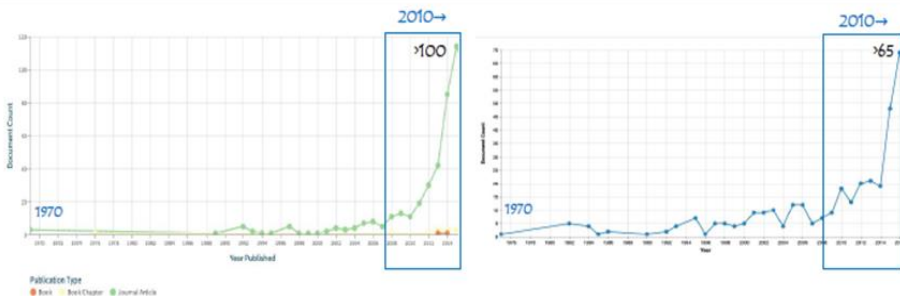
## Biofertilizantes



**Publicaciones científicas**  
 Artículos en revistas (4929)  
 Capítulos de libro (129)  
 Libros (21)

**Propiedad intelectual**  
 Patentes otorgadas (180)  
 solicitadas (551)

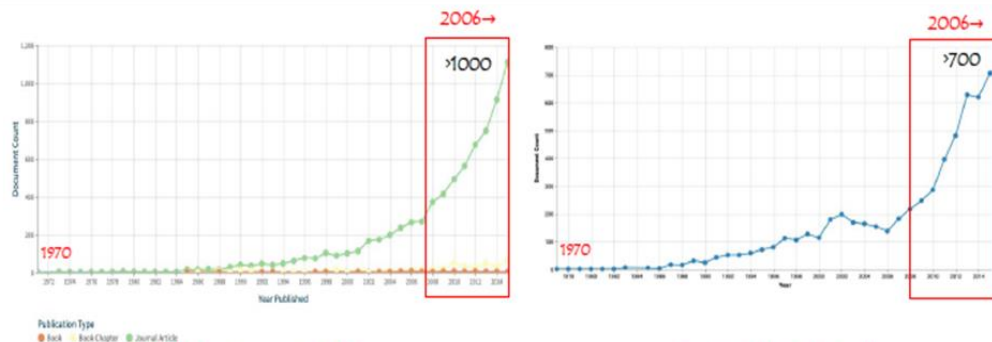
## Bioestimulantes



**Publicaciones científicas**  
 Artículos en revistas (648)  
 Capítulos de libro (21)  
 Libros (2)

**Propiedad intelectual**  
 Patentes otorgadas (104)  
 solicitadas (273)

## Biopesticidas



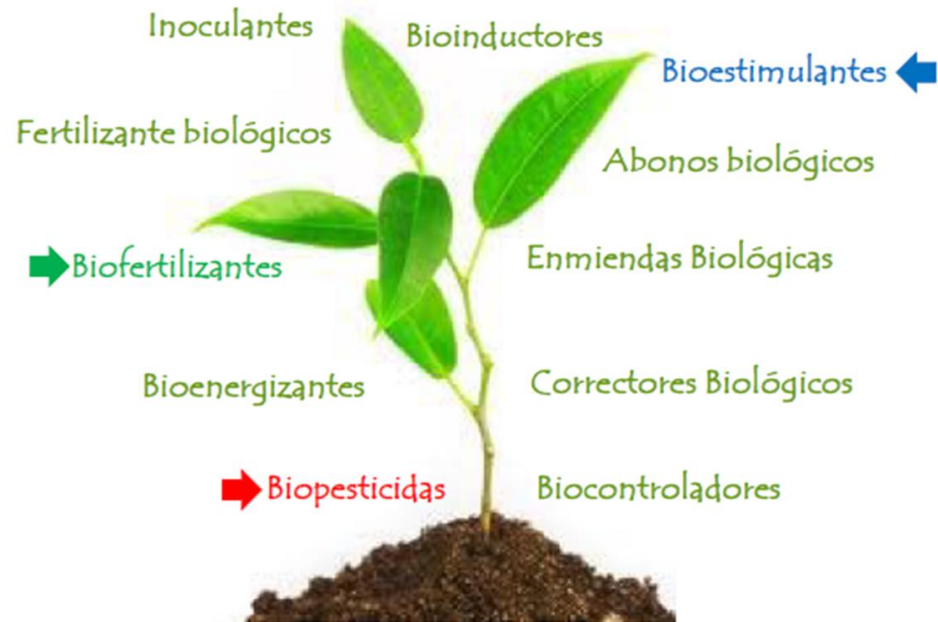
**Publicaciones científicas**  
 Artículos en revistas (13.421)  
 Capítulos de libro (663)  
 Libros (70)

**Propiedad intelectual**  
 Patentes otorgadas (2389)  
 solicitadas (4470)

Fuente: Romina Almasia RChB-RELAR 2019



## Algunos de estos microorganismos (o sus derivados) industrializados (bioisumos) amplían la oferta de productos biológicos para agricultura.



Pero de manera general se reconocen **3 tipos de Bioisumos...**!

**Y los demás son sinónimos o están incluidos en algunos de éstos grupos**

Adaptado de Cassan (2019)

- Los **bioisumos** son formulados conteniendo microorganismos benéficos o compuestos derivados o producidos por estos.
- Al ser aplicarlos a las semillas, la rizosfera o sobre las plantas, **estimulan procesos naturales** para beneficiar los rendimientos y la calidad de los cultivos
- Mejoran la tolerancia a estreses abióticos y la eficiencia de uso de nutrientes y otros recursos productivos.

## Objetivo

- Compartir algunos elementos y experiencias de **respuestas de cultivos** a **la aplicación de bioinsumos** en el marco de sistemas agropecuarios en regiones semiáridas a la aplicación y discutir su contribución en el desarrollo de soluciones sustentables de producción.



## Multiplicidad de modos de acción aplicables al mejoramiento en la producción de cultivos.

### Funciones

#### BioFertilizantes: Nutrición mineral

- ✓ Fijación Biológica de Nitrógeno en leguminosas (Rizobios)
- ✓ Solubilizadores de Fósforo (*Pseudomonas*, *Penicillium*, Micorrizas, etc.)

#### BioControladores: Protección biótica

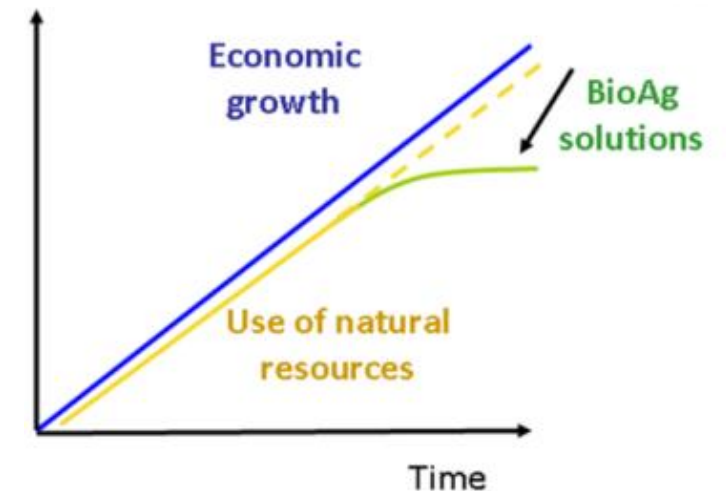
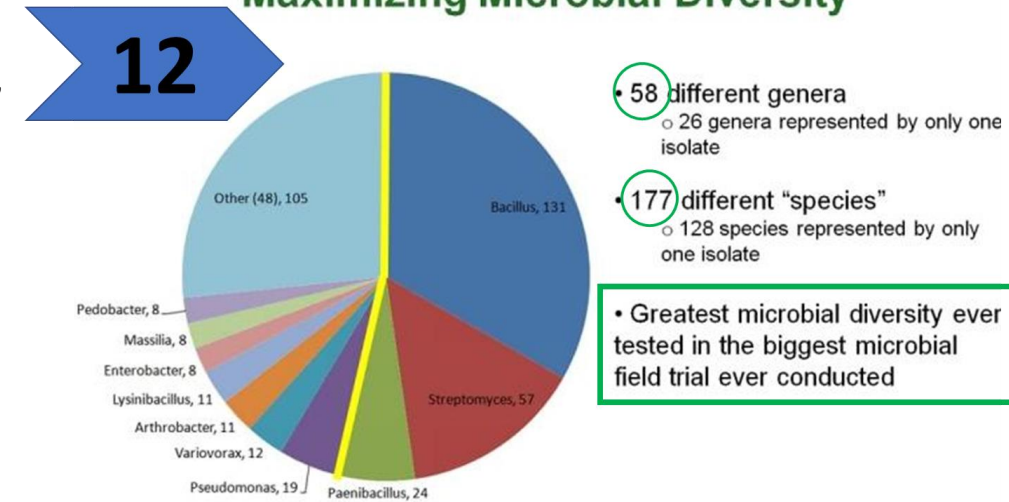
- ✓ Biofungicidas (*Pseudomonas*, Bacilos, etc.)
- ✓ Bioinsecticidas (Nemátodes, *Metarhizium*, etc.)
- ✓ Bioherbicidas
- ✓ Bionematicidas (Bacilos)

#### Fitoestimulantes: Promoción del Crecimiento (mitigación de estrés abiótico)

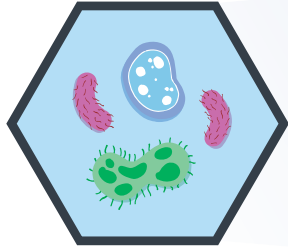
- ✓ Micro-organismos (*Azospirillum*, PGPRs, etc.)
- ✓ Moléculas Señal (LCOs, Isoflavonoides, etc.)

Bioinsumos: el foco del largo plazo. Hacia dónde vamos

### Maximizing Microbial Diversity



## ¿Qué son y cómo se aplican los productos microbianos?



Mayormente **bacterias y hongos**, productos agrícolas biológicos que **protegen** cultivos de plagas y enfermedades y **mejoran** la productividad de las plantas y la fertilidad.

### Protección adicional de cultivos

- Complementan o potencialmente reemplazan productos de síntesis.
- Insectos benéficos.
- Adicionan modos de acción.

### Mejoras en cultivos

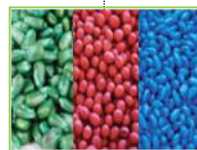
- Eficiente **uso de nutrientes** de los suelos.
- Mejoran la **fijación del N** del aire.
- Plantas más fuertes y saludables.



En una cucharada de suelo hay aproximadamente **50 billones de microbios**

Source: Microbe World

## ¿ CÓMO SE APLICAN LOS MICROBIOS EN AGRICULTURA ?



Tratamientos de semillas



En el surco de siembra



Foliar

## La inoculación es una antigua práctica de producción agrícola con desafíos y oportunidades constantes.

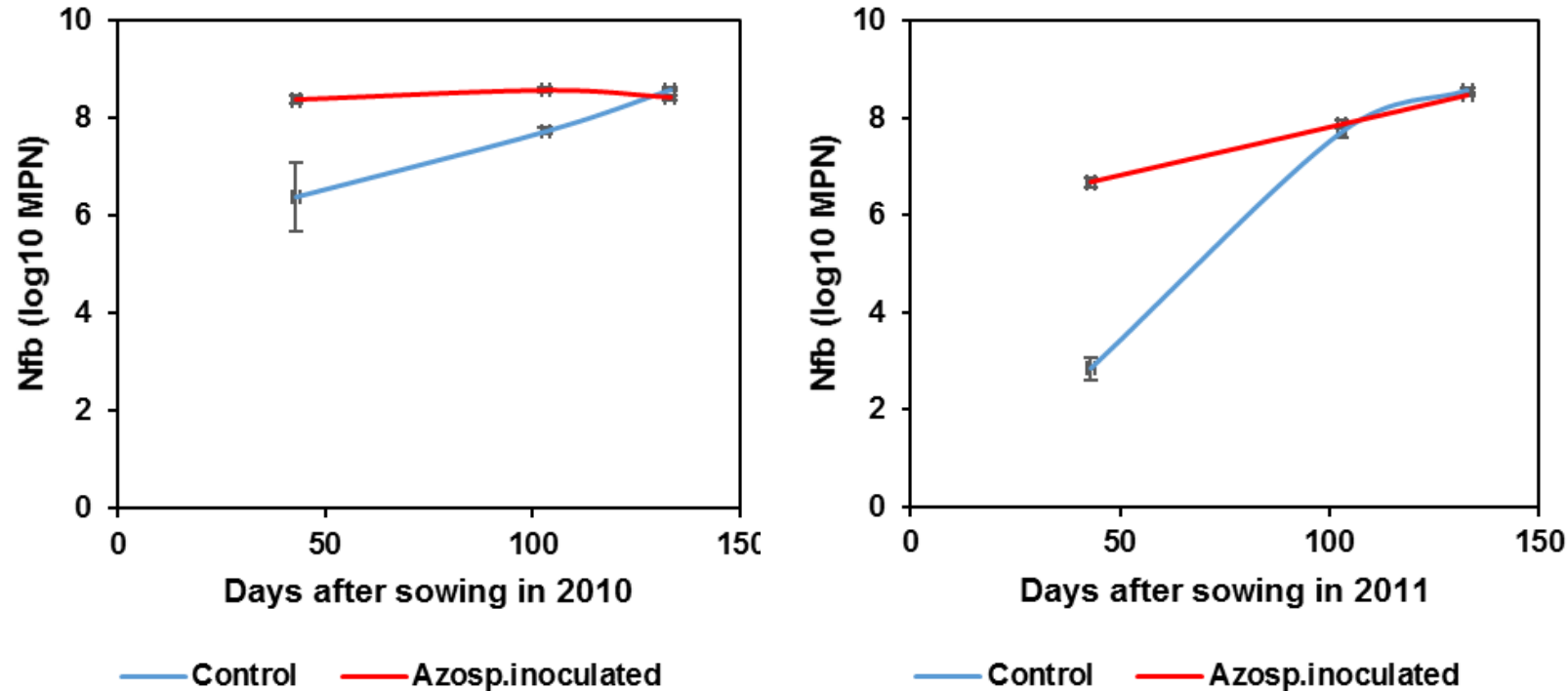
- 0 DC** Los romanos usan suelo de cultivos de leguminosas para inocular nuevos campos.
- 1896** Uso de turba como soporte desarrollado por Nobbe y Hiltner. Primer patente de inoculantes con rizobios (“Nitragin”) en USA y UK.
- 1930’** Inoculación en gran escala con *Azotobacter* en Rusia y con *Bacillus megaterium* en el este de Europa.
- 1950’** Inicio de la inoculación en gran escala con *Rhizobium*. Limitaciones por contaminaciones y resultados inconsistentes.
- 1970’** Establecimiento de regulaciones de calidad de inoculantes en agencias de Australia, USA, Canada
- 1980’** Inoculantes con micorrizas para la recuperación de ecosistemas degradados.
- 1990’** Extensión en el uso de inoculantes promotores del crecimiento y de recuperación de ambientes degradados. Resultados a campo inconsistentes.
- 2000’** Nuevas tecnologías de inoculación y procedimientos de monitoreo de calidad.
- 2010’** Crecimiento y difusión global de utilización de inoculantes microbianos en biotecnología y manejo ambiental.

Fuente: Crowley y col. U. California, Riverside (2016)



## ¿Por qué inocular con microorganismos que ya están en los suelos?

### Bacterias fijadoras de nitrógeno en la rizosfera de cultivos de trigo inoculados con *Azospirillum sp.*



Kazia *et al.* 2016 The response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. Field Crops Res. 196:368–378.

Al inocular se “anticipa” el establecimiento de microflora rizosferica benéfica.



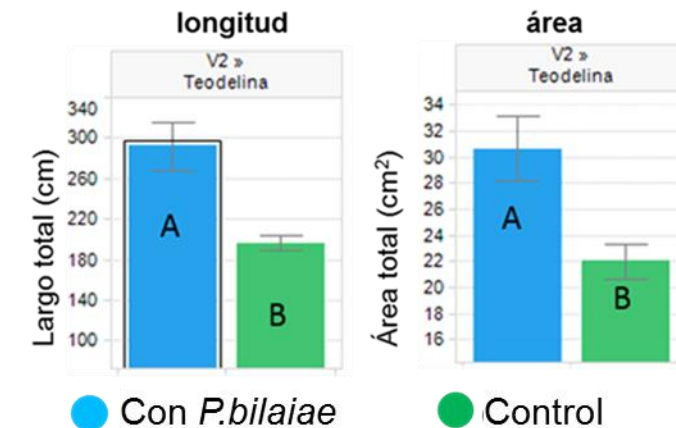
## ¿Qué mejoran los productos microbianos aplicados a la producción agrícola?

- ✓ El crecimiento de las raíces.
  - **Mayor longitud y proporción de raíces finas.**
- ✓ La eficiencia en el uso de nutrientes.
- ✓ La captación y el uso del nitrógeno atmosférico.
- ✓ La producción de biomasa aérea.
- ✓ La producción de granos.

### Maíz.

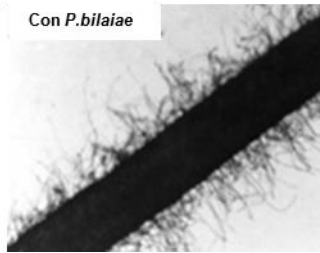
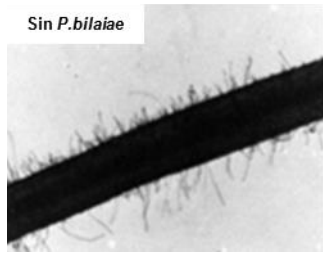
Tratamiento de semillas con *Penicillium bilaiae*  
(Teodolina, SF – 2018/19)

Raíces con diámetro 0-3 mm



## *Penicillium bilaiae*. Mayor crecimiento de raíces de leguminosas

### Mayor crecimiento de raíces

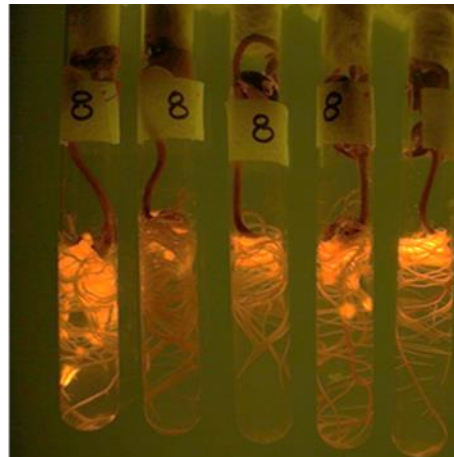


### Crecimiento sobre raíces de soja

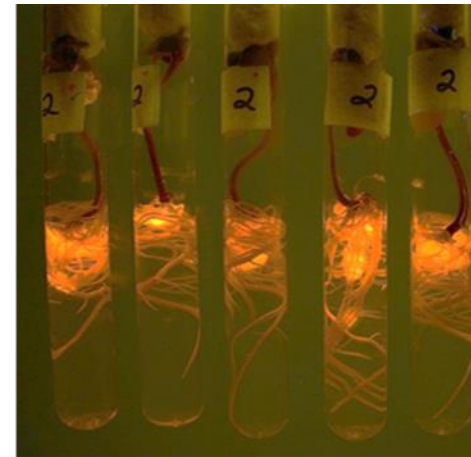
Semillas tratadas almacenadas 45 días



Sin *P.bilaiae*



Con *P.bilaiae*  
Sin fungicida

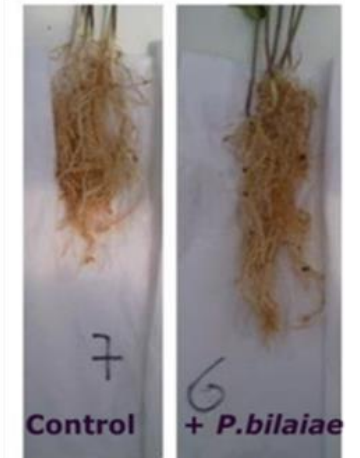


Con *P.bilaiae*  
Con fungicida

### Tratamiento "a campo"

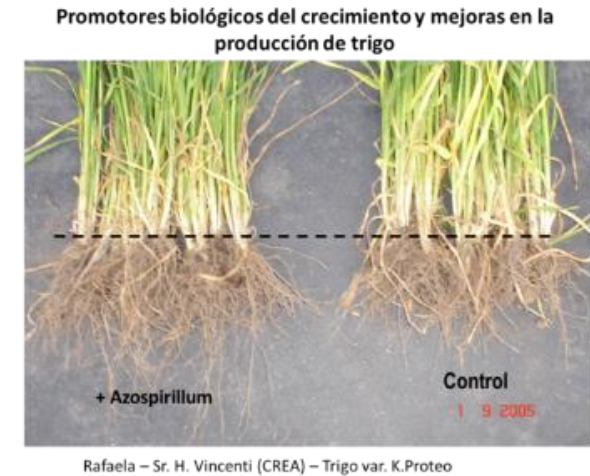
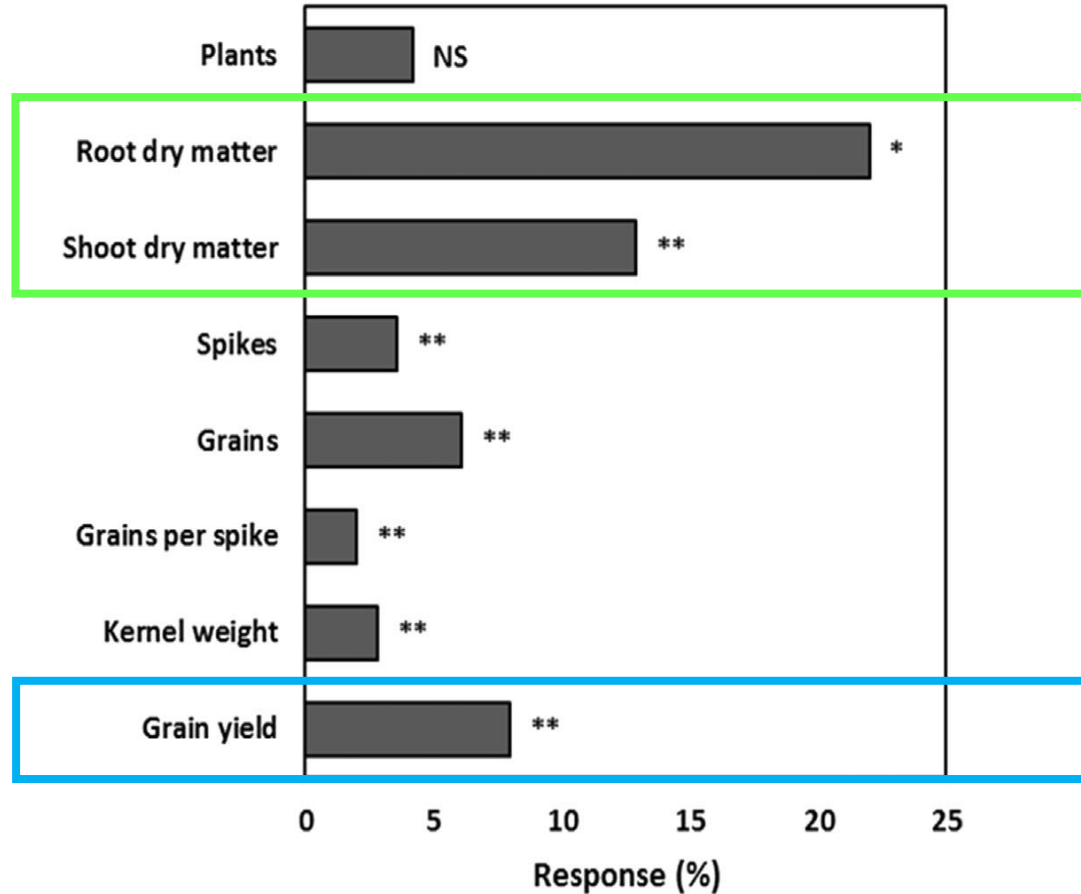


Sistema de tratamiento anticipado



(Pilar, AR - Nov.2012)

## Trigo. Respuestas a la inoculación con *Azospirillum brasilense* (Argentina, n=297)



- ✓ **Mayores aportes en crecimiento inicial (producción de raíces y de biomasa aérea).**
- ✓ **Respuestas significativas al aumentar la productividad de los cultivos.**

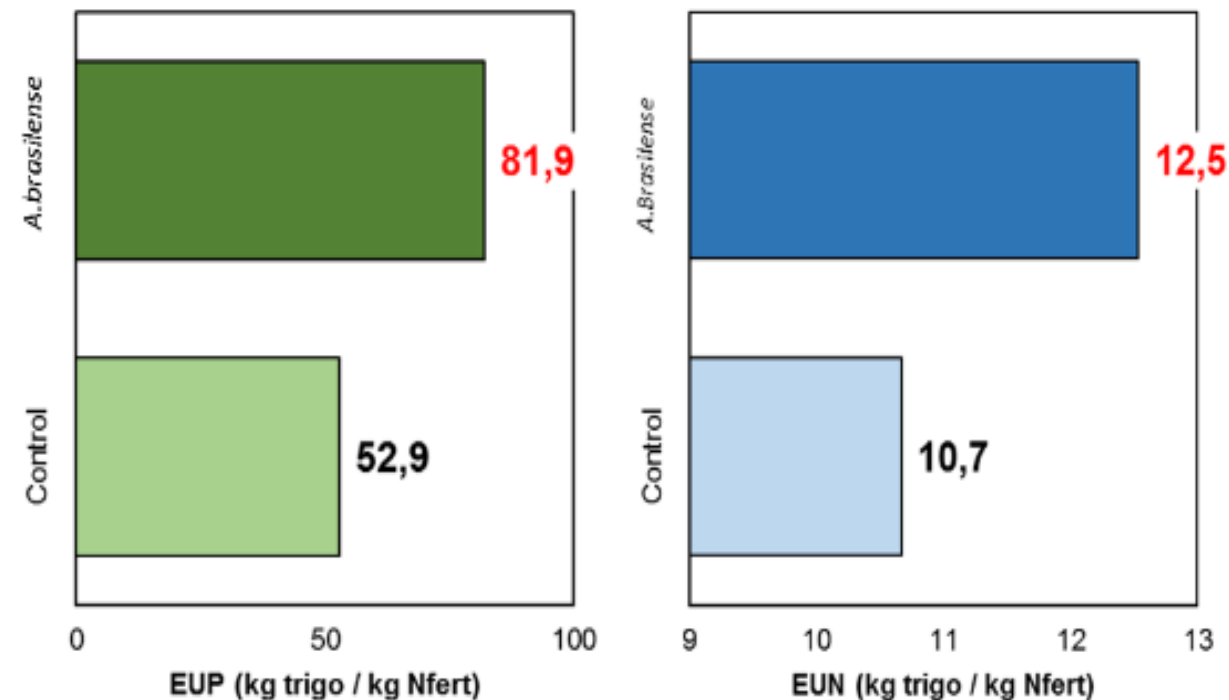
Díaz-Zorita y Fernandez Canigia (2009)

## ¿Qué mejoran los productos microbianos aplicados a la producción agrícola?

- ✓ El crecimiento de las raíces.
  - Mayor longitud y proporción de raíces finas.
- ✓ **La eficiencia en el uso de nutrientes.**
- ✓ La captación y el uso del nitrógeno atmosférico.
- ✓ La producción de biomasa aérea.
- ✓ La producción de granos.

### Trigo.

Tratamiento de semillas con *Azospirillum brasilense*  
(Región pampeana - 10 sitios - 2015)





**Cebada. Uso del agua en sistemas integrados de fertilización (NP) e inoculación con *Azospirillum sp.***  
Región semiárida-subhúmeda pampeana

Sitio	UC (mm)		Aportes del suelo (%)		EUA (kg MS mm <sup>-1</sup> )	
	Sin F+I	F + I	Sin F+I	F + I	Sin F+I	F + I
<b>A</b>	408	398	2,8	5,1	4,9 b A	9,4 a A
<b>B</b>	405	433	10,0	3,7	4,2 b A	6,8 a B
<b>Promedio</b>	416	406	6,4	4,4	4,5	8,1

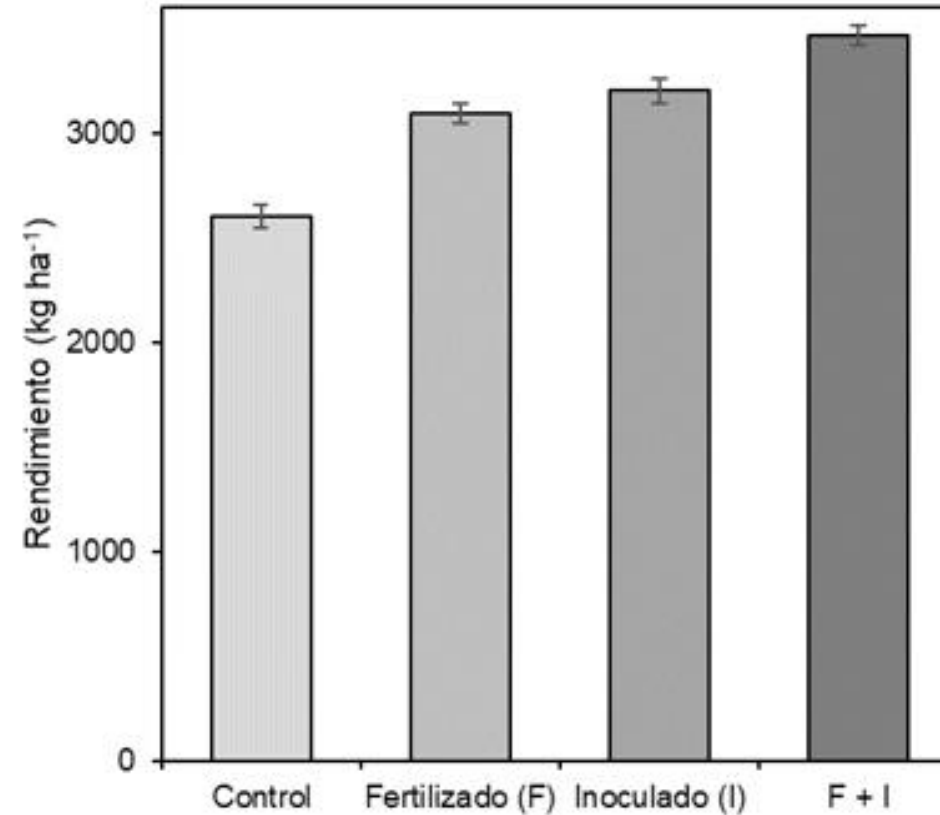
Alvarez y Díaz-Zorita (inédito)

- El modelo integrado de fertilización (NP) e inoculación con *Azospirillum* mejora la eficiencia de uso del agua para la producción de biomasa aérea (cobertura).
- Mayor contribución en la eficiencia del uso del agua de lluvia (menor aporte relativo del agua almacenada en el suelo).



## Soja. Aportes de la fertilización PS sobre la producción de granos

Promedio de 78 sitios experimentales en Argentina



Díaz-Zorita y col (2019)

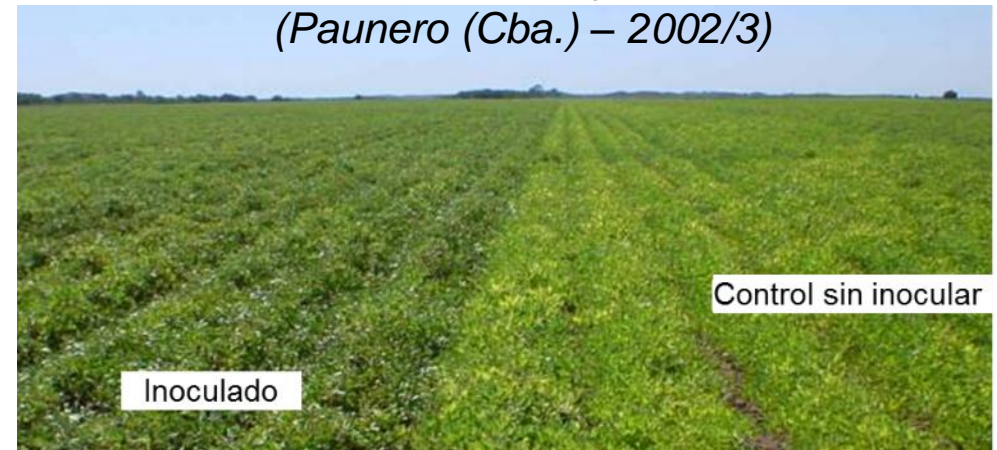
- La respuesta a la fertilización fue menor ( $370 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en cultivos sin inocular que en los inoculados ( $740 \text{ kg ha}^{-1}$ ).
- La contribución relativa de la inoculación sobre los rendimientos no mostró diferencias significativas entre cultivos sin fertilizar (9,4 %) y fertilizados PS (8,2 %).

## ¿Qué mejoran los productos microbianos aplicados a la producción agrícola?

- ✓ El crecimiento de las raíces.
  - Mayor longitud y proporción de raíces finas.
- ✓ La eficiencia en el uso de nutrientes.
- ✓ **La captación y el uso del nitrógeno atmosférico.**
- ✓ La producción de biomasa aérea.
- ✓ La producción de granos.

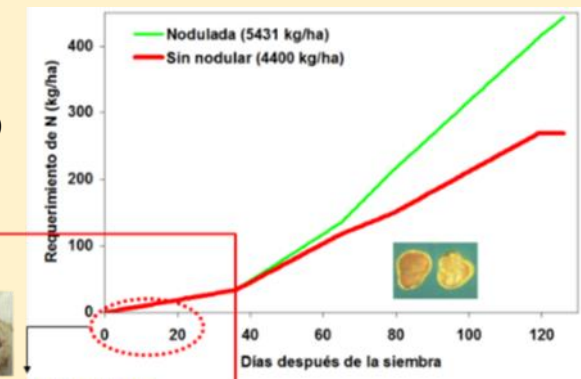
### Maní.

Inoculación con *Bradyrhizobium sp.*  
(Paunero (Cba.) – 2002/3)



### Soja.

Inoculación y rendimiento de nitrógeno



## Soja. Aumento en la FBN al inocular

Promedio de 7 sitios

[Alberdi (BA), Runciman, C.de Gomez, Casilda, Oliveros (SF), H.Renanco y J.María (Cba)]

Tratamiento	Materia seca aérea	N total	NdFBN	N suelo	FBN
		kg ha <sup>-1</sup>			%
Control	6950 b	175 b	111 b	63 a	58 a
Inoculado	7830 a	197 a	132 a	66 a	62 a
CV%	17,8	18,0	24,5	40,0	22,0
<i>p</i>	0,008	0,009	0,006	0,850	0,203

Piccinetti y col. (2011)

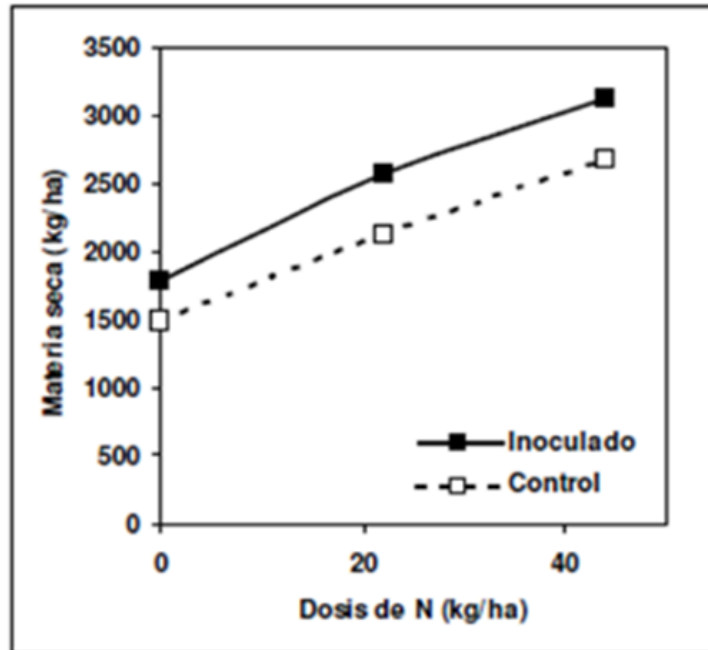
- Al inocular se incorporan en promedio 20 kg/ha más de nitrógeno por FBN.
- El mayor crecimiento (materia seca aérea) responde a la mayor cantidad de NdFBN (no se observan mayores aportes desde el suelo)

## ¿Qué mejoran los productos microbianos aplicados a la producción agrícola?

- ✓ El crecimiento de las raíces.
  - Mayor longitud y proporción de raíces finas.
- ✓ La eficiencia en el uso de nutrientes.
- ✓ La captación y el uso del nitrógeno atmosférico.
- ✓ **La producción de biomasa aérea.**
- ✓ La producción de granos.



## Centeno y Cebada. Fertilización e inoculación con *Azospirillum brasilense*



Fuente: Díaz-Zorita, Congreso AAPA 2004

Cebada. Producción de materia seca (RPA, n=2)

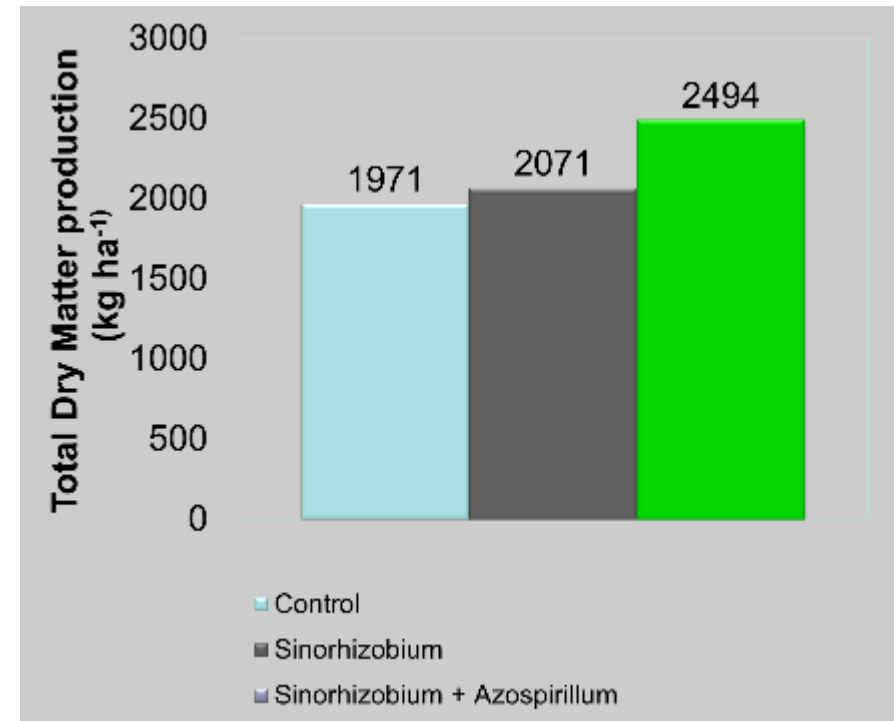
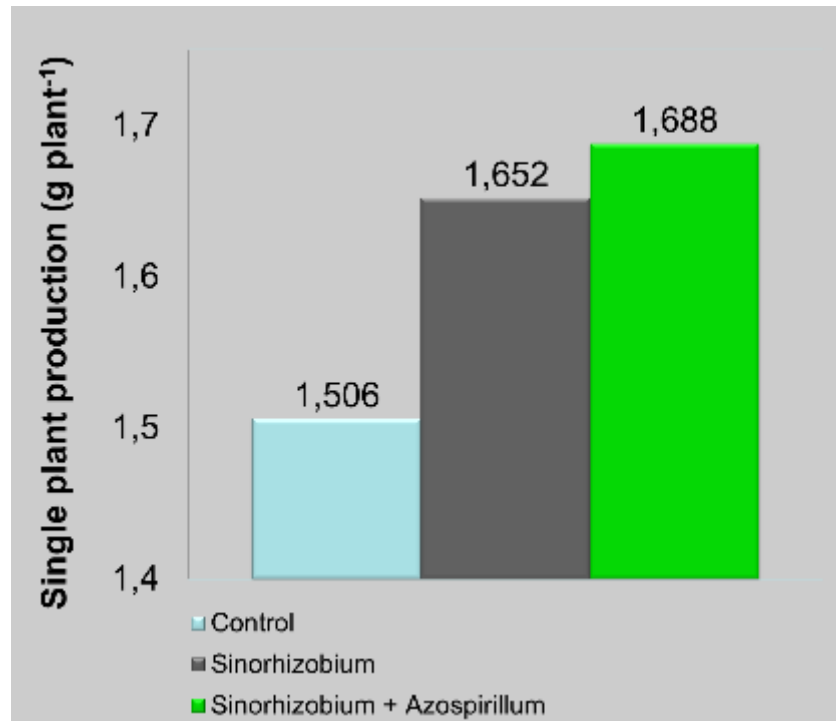
Seed inoculation	N fertilization (kg ha <sup>-1</sup> )	Sites		
		A	B	Mean
Dry matter (kg ha <sup>-1</sup> )				
None	0	4270	2893	3961
	40	5087	3593	
<i>A. brasilense</i>	0	5227	3348	4495
	40	5775	3628	

Cassan y Díaz-Zorita (2016)

### Mayor crecimiento inicial al inocular

- ✓ Respuesta al tratamiento con biológico: **independiente del nivel de fertilización nitrogenada.**
- ✓ Al aumentar la dosis de N aplicado, la producción de forraje aumentó tanto para cultivos inoculados como para aquellos sin inocular.
- ✓ Rta.Inoc. (n=17, 3 campañas, +15%, + 537 kg/ha)

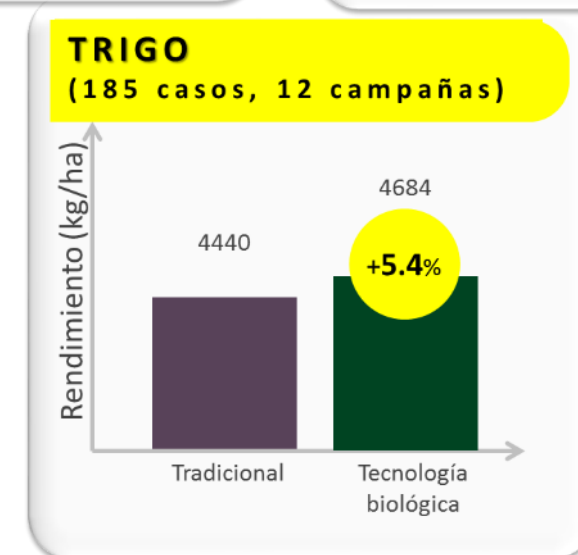
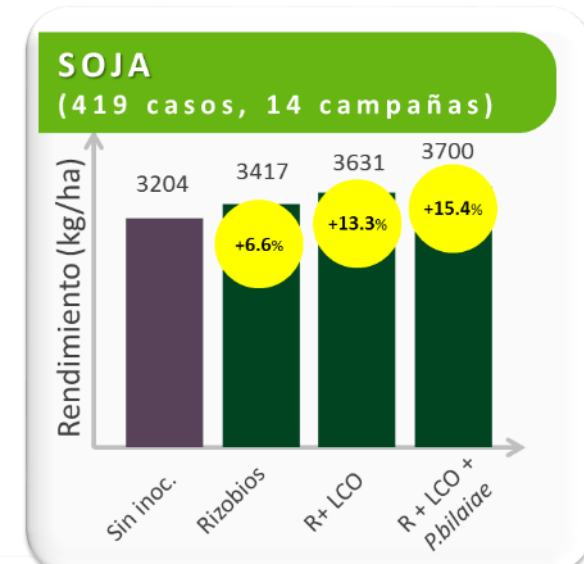
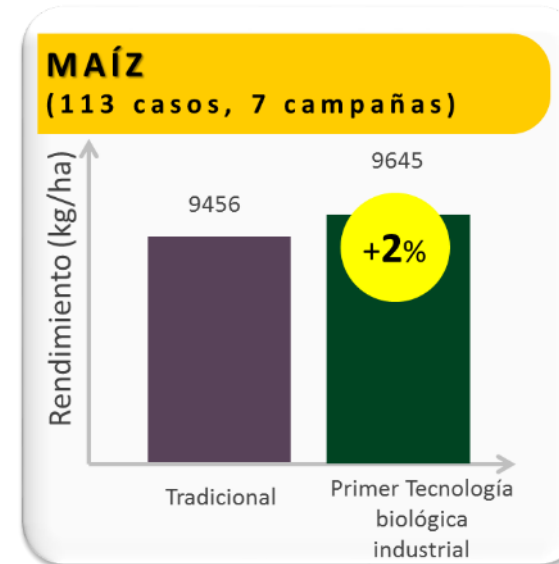
## Alfalfa. Coinoculación en tratamientos de semillas con *Azospirillum brasilense* Argentina (21 casos, 7 campañas)



Mayor producción inicial de biomasa sustentada por mejor crecimiento individual de plantas inoculadas con *Sinorhizobium meliloti* y *Azospirillum brasilense* (sin cambios en nodulación).

## ¿Qué mejoran los productos microbianos aplicados a la producción agrícola?

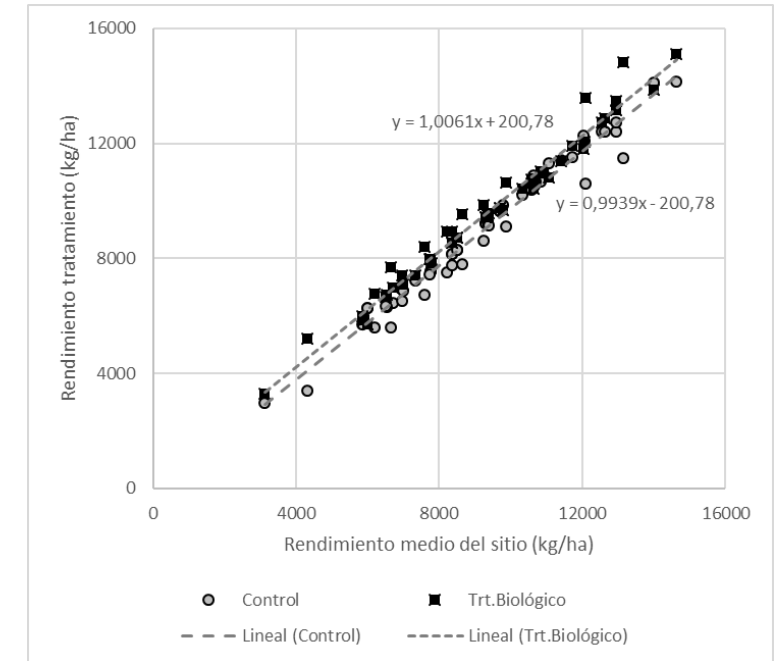
- ✓ El crecimiento de las raíces.
  - Mayor longitud y proporción de raíces finas.
- ✓ La eficiencia en el uso de nutrientes.
- ✓ La captación y uso del nitrógeno atmosférico.
- ✓ La producción de biomasa aérea.
- ✓ **La producción de granos.**





## Maíz. Tratamiento de semillas con *Penicillium bilaiae* (Argentina, 7 campañas, 58 sitios)

Campaña	Sitios	Rendimiento (kg/ha)		Aumento	
		Control	<i>P. bilaiae</i>	kg/ha	%
2008	15	8130	8469	339	5%
2009	3	5935	6098	162	3%
2010	6	9347	9936	589	7%
2011	10	7727	8550	823	13%
2013	10	10141	10919	778	9%
2014	9	11425	11834	409	4%
2015	5	7921	8111	191	3%
<b>2008 a 2015</b>	<b>58</b>	<b>8661</b>	<b>9131</b>	<b>470</b>	<b>6,3%</b>

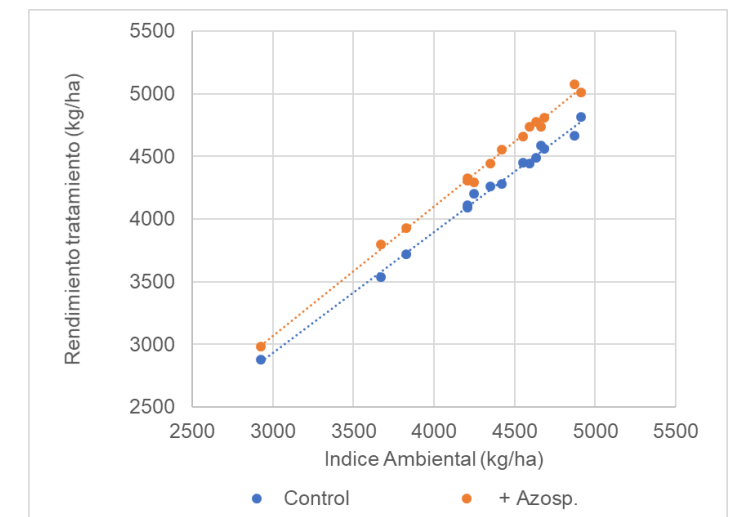
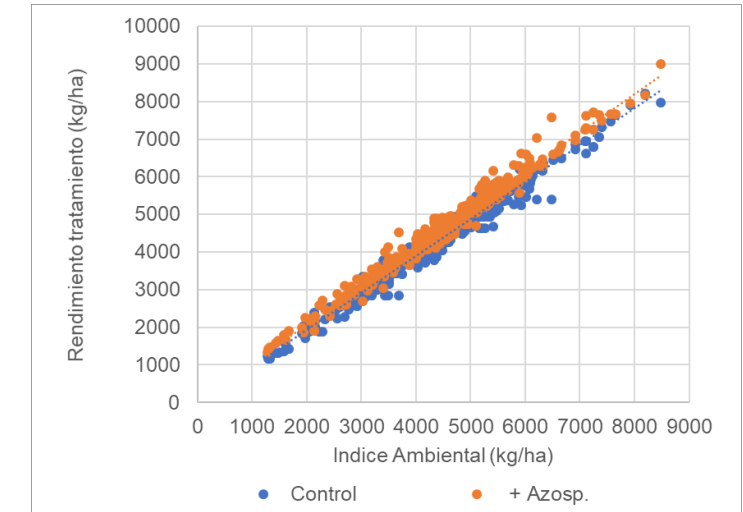


### *Penicillium bilaiae*

- Hongo promotor del crecimiento de plantas aislado en Canada originalmente por su capacidad de “solubilización” de fosfatos y actualmente con reconocidos efectos de mejora de crecimiento de raíces por la liberación de ácidos y otros compuestos precursores de la actividad radical.
- Evaluaciones extensivas muestran cambios en el crecimiento de raíces y aportes en producción independientes del manejo frecuente de fertilización del cultivo.

## Trigo. Inoculación con *Azospirillum brasilense* Argentina - 617 casos, 15 campañas

Campaña	Sitios	Rendimiento (kg/ha)		Incremento		Positivos
		Control	+ Azosp.	kg/ha	%	
2002	34	2875	2980	104	4,4%	62%
2003	101	3535	3800	265	9,5%	80%
2004	84	4090	4327	237	6,4%	86%
2005	43	4488	4777	288	7,1%	86%
2006	29	4664	5076	412	10,3%	90%
2007	31	4445	4736	291	6,8%	81%
2008	98	4110	4306	196	6,0%	70%
2009	35	4282	4555	273	6,1%	89%
2010	9	4818	5008	190	3,8%	78%
2011	44	4450	4658	208	5,1%	59%
2012	29	3722	3928	206	6,4%	76%
2013	14	4199	4293	94	2,9%	64%
2014	20	4258	4444	186	4,8%	75%
2015	10	4587	4736	149	2,9%	60%
2016	36	4562	4806	244	7,9%	81%
<b>15</b>	<b>617</b>	<b>4206</b>	<b>4429</b>	<b>223</b>	<b>6,0%</b>	<b>76%</b>

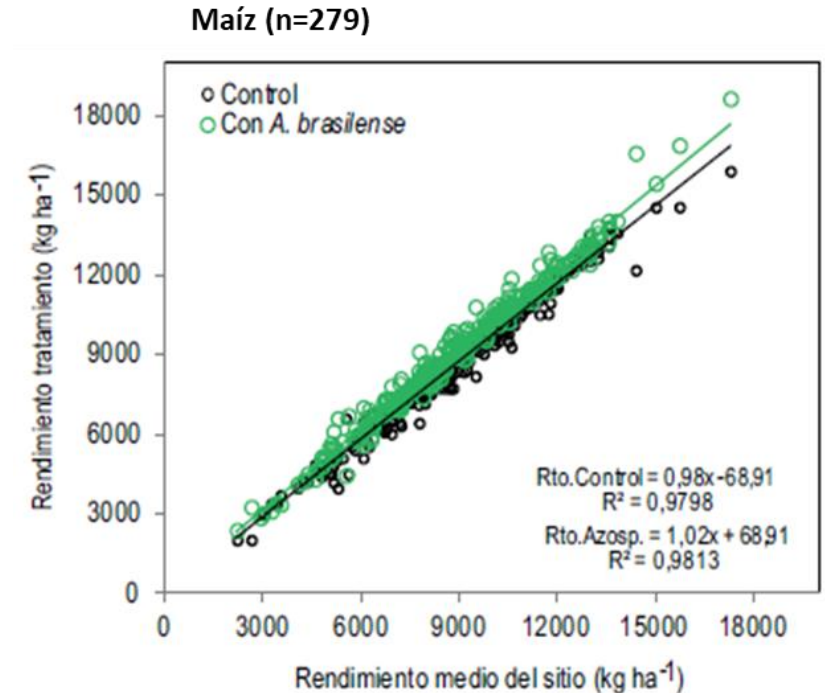


- Mayor producción de granos al inocular con *Azospirillum* (3 – 10% de mejoras entre años).

## Maíz. Tratamiento de semillas con *Azospirillum brasilense*

(Argentina, 10 campañas, 225 sitios, Nitragin Maiz®)

Campaña	Sitios	Rendimiento (kg/ha)		Respuesta		Positivos %
		Control	Nitragin Maiz	kg/ha	%	
2002	13	8810	9183	373	4,4	77
2003	32	7973	8392	419	5,5	78
2004	22	9642	10235	592	6,7	95
2005	19	7337	7745	408	5,2	84
2006	24	9869	10405	536	5,9	88
2007	41	9048	9649	602	8,8	80
2008	46	8045	8534	489	8	76
2009	12	9369	10071	702	7,8	83
2011	12	8073	8881	808	9,6	75
2012	4	8864	9046	182	2,1	95
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>8639</b>	<b>9163</b>	<b>524</b>	<b>6,1</b>	<b>84</b>



Díaz-Zorita et al. (2013)

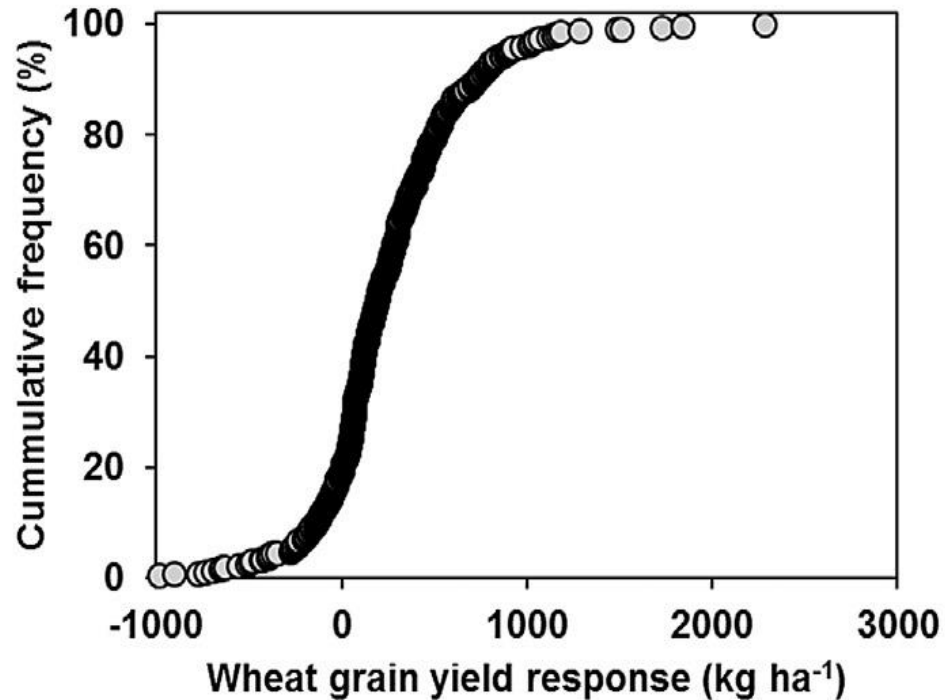
- Mayor producción de granos al inocular con *Azospirillum* (2 – 10% de mejoras entre años).



## Distribución de frecuencias de respuestas a la inoculación con *Azospirillum brasilense*

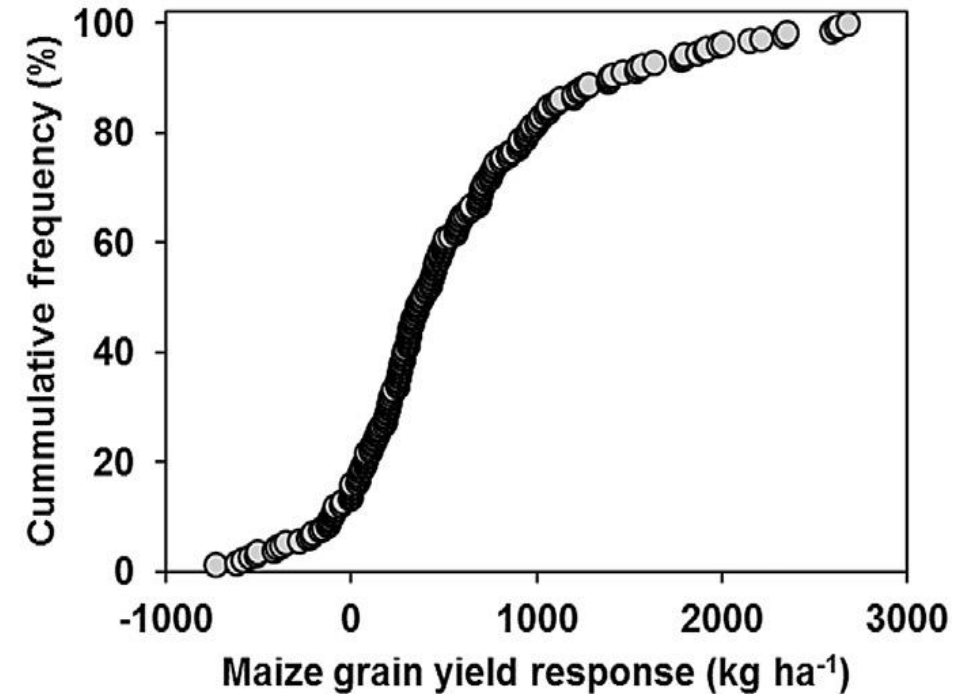
### Trigo.

Argentina. 9 campañas (2007/8 a 2015/16)  
432 ensayos en parcelas con replicas



### Maíz.

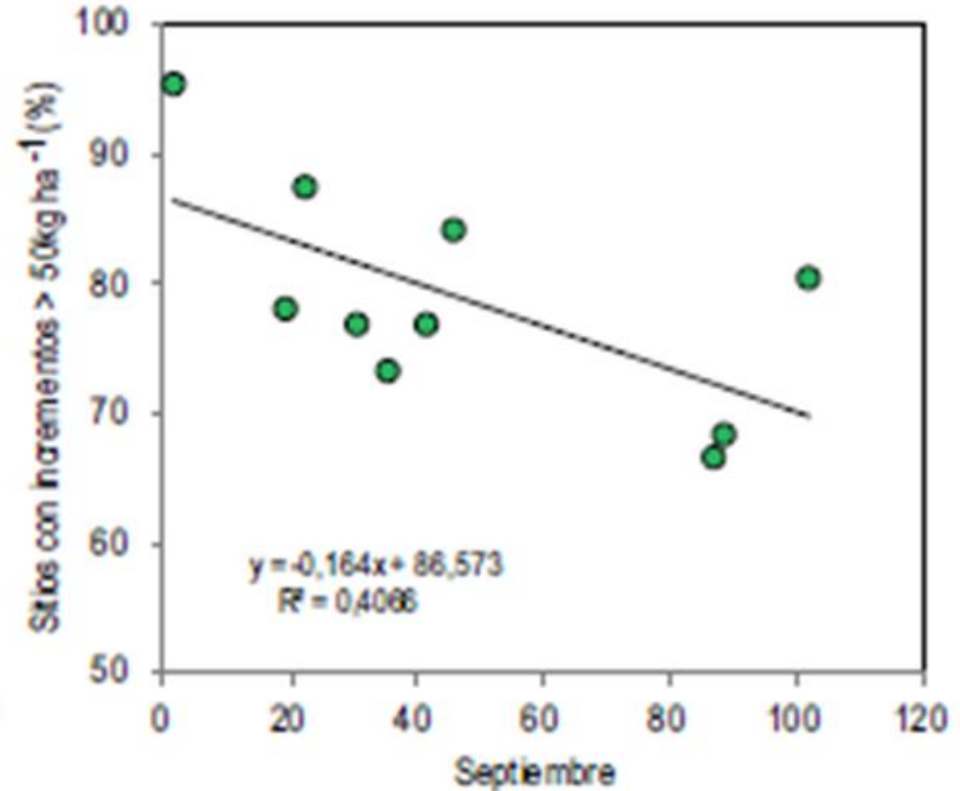
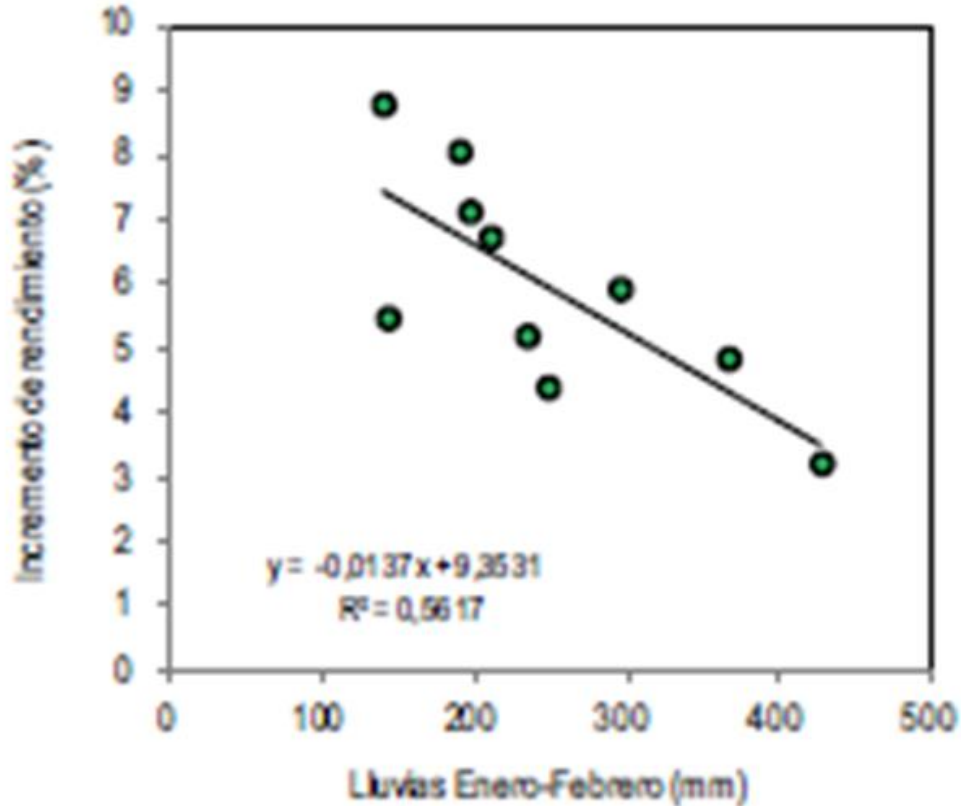
Argentina. 10 campañas (2005/6 a 2014/15)  
225 ensayos en parcelas con replicas



¿condiciones ambientales?

## Maíz. Lluvias en implantación-crecimiento vegetativo y respuestas a la inoculación con *Azospirillum brasilense*.

Argentina. 10 campañas - ensayos en parcelas con replicas

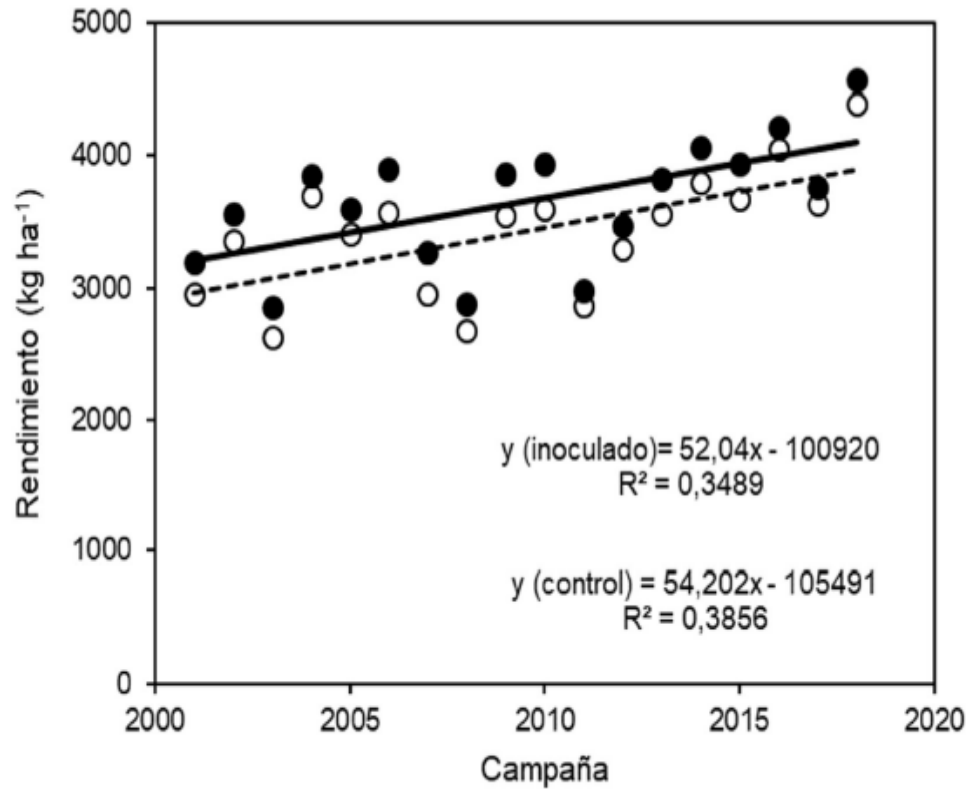


Díaz-Zorita et al. (2013)

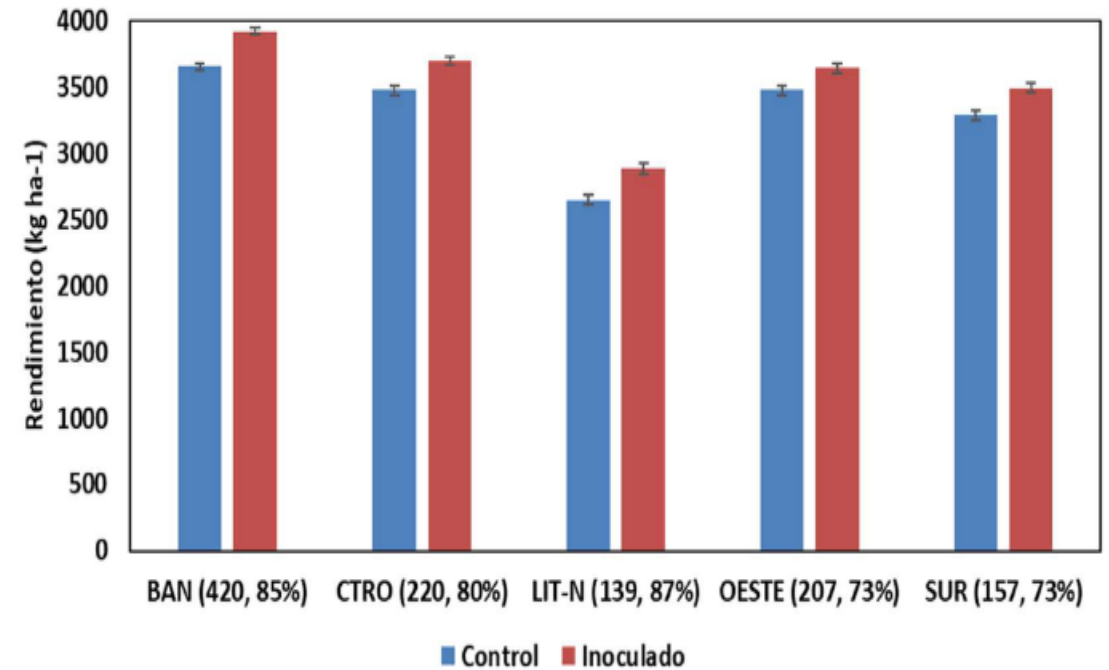
✓ Mayores respuestas en campañas con menor oferta hídrica al inicio de los cultivos.

## Soja. Variabilidad regional y estacional de la inoculación con *Bradyrhizobium sp.*

1143 ensayos de inoculación realizados entre las campañas 2001/2 - 2018/19



○ Control      ● Inoculado



Perticari y col. (2019)

- ✓ En promedio, la inoculación mostró incrementos de 228 kg ha<sup>-1</sup>, equivalentes a 8,1%
- ✓ Variabilidad de respuestas similares entre regiones (29,6%) y entre campañas (27,7%)



## Comentarios finales

- ✓ Abundantes resultados locales valoran la contribución de la aplicación de bioinsumos (biofertilizantes, bioestimulantes) para mejorar la productividad de cultivos extensivos.
- ✓ Estos resultados muestran mayor FBN (leguminosas) y eficiencia de uso de nutrientes (y agua) de cultivos (y pasturas) que aumentan la producción de biomasa (de raíces y aérea) y sus rendimientos.
- ✓ En condiciones de limitación (no de ausencia) hídrica o de nutrientes las contribuciones al crecimiento inicial y en rendimiento son mayores.
- ✓ En el desarrollo de nuevos bioinsumos para su aplicación en sistemas agrícolas es recomendable considerar evaluar su contribución cuantificando las respuestas y sus frecuencias en sistemas y ambientes representativos de uso. Además, de su integración operativa con otras prácticas de producción (forma de aplicación, combinaciones con otros tratamientos, etc.)



# IV Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos.

25 y 26 de Septiembre de 2019, Córdoba.

# Muchas gracias

¿ preguntas ?