

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR CON ALGA MARINA (*Undaria pinnatifida*) Y DE PROMOTORES DE CRECIMIENTO, SOLOS Y COMBINADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

Trabajo final de Grado

del alumno

**CABRERA MERCEDES**

Este trabajo ha sido presentado como requisito

para la obtención del título de

**Ingeniero Agrónomo**

Carrera

**Ingeniería Agronómica**



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.**

**Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Junín (B), 22 de Julio de 2020

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR CON ALGA MARINA (*Undaria pinnatifida*) Y DE PROMOTORES DE CRECIMIENTO, SOLOS Y COMBINADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ.**

Trabajo Final de Grado

del alumno

**CABRERA MERCEDES**

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Ing. Agr. (MSc) Ferrer Marcelo

**Evaluador**

Ing. Agr. Palma Oscar

**Evaluador**

Ing. Agr. Mango Sebastian

**Evaluador**

Ing. Agr. Juan Pablo de Benedetto

**Director**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Junín, 22 de Julio de 2020

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a todos aquellos que me acompañaron en este camino, que no fue fácil, pero disfruté transitarlo.

En primer lugar, quiero agradecer a Juan Pablo de Benedetto por guiarme a lo largo de este trabajo, por sus consejos y que en todo momento estuvo presente para dar el último paso de mis estudios.

A la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA), por brindarme los medios para la realización de este trabajo y formarme académicamente.

A mis padres, Karina y Juan que me dieron la posibilidad de estudiar y no dejaron que me cayera en este camino.

A mi pareja, Federico, que con su paciencia y compañerismo fue un pilar muy importante.

A mi familia, abuela Norma, tías (Claudia y Natalia), y primos que estuvieron ayudándome para la toma de datos para que todo fuese más grato.

A mi amiga Camila “La Pu” que me brindó su oído y su hombro siempre, en las buenas y en las malas.

A todos los amigos que me deja la UNNOBA que, hoy son mi segunda familia.

Muchas gracias a todos por su granito aportado para que pueda llegar a esta meta tan importante en la vida de un estudiante para poder ser realmente un profesional.

<b><u>Índice</u></b>	<b>4</b>
<b>Resumen</b>	<b>5</b>
<b>Abreviaturas utilizadas</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1. 1. Cultivo de maíz	7
1. 2. Determinación del rendimiento en el cultivo de maíz	7
1. 3. Fertilización foliar en el cultivo de maíz	9
1. 4. Sustitución de fertilizantes químicos por biofertilizantes	10
1. 5. Sustitución de fertilizantes químicos por bioestimulantes	12
<b>2. Hipótesis</b>	<b>13</b>
<b>3. Objetivo general</b>	<b>13</b>
<b>4. Objetivos específicos</b>	<b>14</b>
<b>5. Materiales y métodos</b>	<b>14</b>
5. 1. Localización del área de estudio	14
5. 2. Material biológico	14
5.3. Diseño y tamaño de la parcela experimental	15
5. 4. Conducción del experimento	15
5. 5. Toma de datos	16
5. 6. Análisis estadístico	16
<b>6. Resultados</b>	<b>17</b>
6. 1. Datos morfológicos	17
6. 1. 1. Altura de las plantas	17
6. 1. 2. Altura de inserción de espigas principales	18
6. 2. Datos de estimación de rendimiento	19
6. 2. 1. Peso de 1000 semillas	19
6. 2. 2. Tamaño de espigas	20
6. 2. 3. Número de espigas/m <sup>2</sup>	21
6. 2. 4. Número de grano/espiga	22
6. 2. 5. Número de hileras/espiga	23
6. 2. 6. Rendimiento (kg/ha)	24
6. 3. Análisis estadístico	25
6. 3. 1. Análisis de varianza	25
6. 3. 2. Test de comparaciones múltiples	25
6. 3. 3. Planteo de hipótesis de Normalidad	26
<b>7. Discusión</b>	<b>27</b>
<b>8. Conclusión</b>	<b>29</b>
<b>9. Bibliografía</b>	<b>30</b>

# **EFFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR CON ALGA MARINA (*Undaria pinnatifida*) Y DE PROMOTORES DE CRECIMIENTO, SOLOS Y COMBINADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ.**

## **Resumen**

Se sabe que, para corregir deficiencias nutricionales de las plantas, promover un buen desarrollo de los cultivos y calidad de los mismos, se puede suplir las deficiencias con aplicaciones foliares tanto con fertilizantes, bioestimulantes y biofertilizantes. La información que se conoce sobre fertilización foliar en maíz con bioestimulantes y biofertilizantes es muy escasa. El objetivo de este trabajo fue analizar los componentes de rendimiento a nivel de cultivo de un híbrido de maíz en una sola fecha de siembra y una sola densidad. Se realizó un ensayo a campo donde se sembró el híbrido AG 7004 MGR2 de maíz y se le aplicó por vía foliar en estadio de V6 diferentes tratamientos, los cuales consistieron en la utilización de dos rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal utilizadas en cultivos: *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* y un alga marina como biofertilizante (*Undaria pinnatifida*), aplicados solos y en combinación. Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre componentes morfológicos como la altura de las plantas, altura de inserción de espiga principal y componentes de rendimiento (peso de mil semillas, número de hileras por espiga, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado). No se encontró una respuesta significativa estadísticamente, pero se vió un incremento en el rendimiento a favor de los tratamientos que poseen *Azospirillum* AZ39 sólo, y en combinación con *U. pinnatifida*.

**Palabras claves:** Maíz – aplicación foliar – bioestimulantes – biofertilizantes – *Azospirillum* – *Bradyrhizobium* - *U. pinnatifida*.

## Abreviaturas utilizadas

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
V6	6 hojas totalmente desplegadas
AZ39	<i>Azospirillum Brasilense</i>
NG	Número de grano
RPCV y PGPR	Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal
N	Nitrógeno
E109	<i>Bradyrhizobium Japonicum</i>
T0	Testigo
T1	Tratamiento 1
T2	Tratamiento 2
T3	Tratamiento 3
T4	Tratamiento 4
T5	Tratamiento 5
P1000	Peso de mil semillas
RG	Rendimiento de granos
VT	Panojamiento
R6	Madurez fisiológica
DGC	Prueba de Di Renzo, Guzmán y Casanoves

## **1. Introducción**

### **1.1. Cultivo de maíz**

El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas). Es una de las especies cultivadas más productivas. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total de Argentina. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical, hoy día se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (Paliwal y col., 2001).

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Paliwal y col., 2001).

### **1.2. Determinación del rendimiento en el cultivo de maíz**

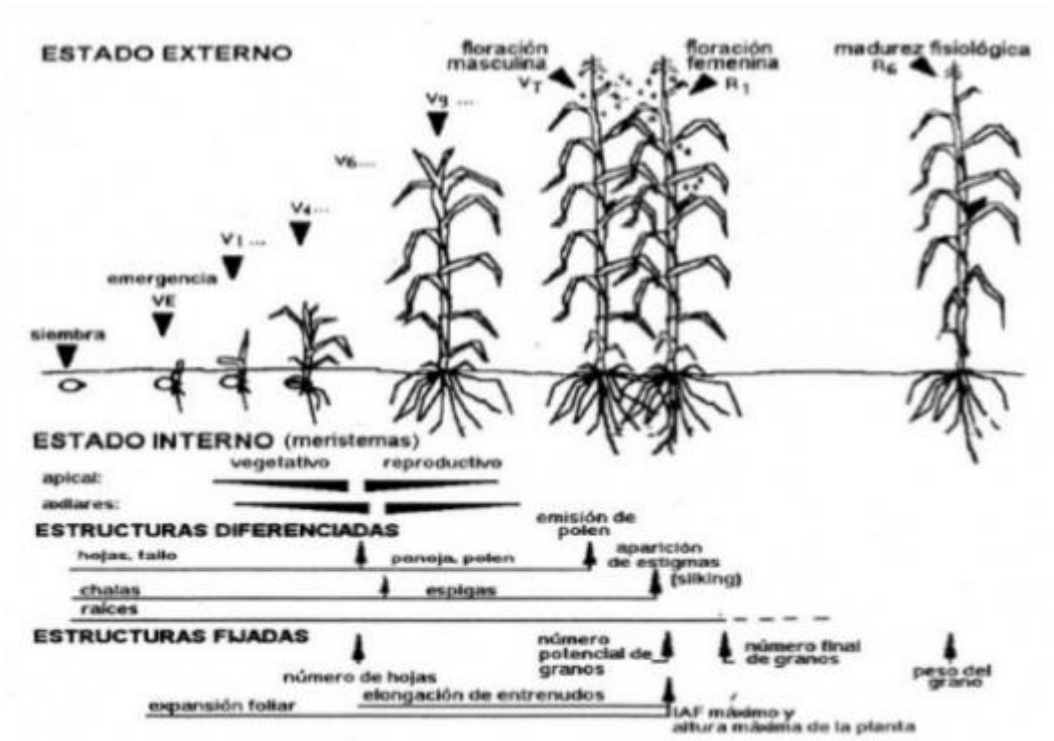
El rendimiento del cultivo de maíz se encuentra determinado por el número de granos (NG) producidos por unidad de área cultivada y por el peso medio de los mismos. De los dos componentes, el NG maduros es el que está más estrechamente relacionado con las variaciones en el rendimiento del maíz a campo (Cirilo y Andrade, 1994a; Otegui, 1995).

En el período de 30 días centrado en la floración femenina, el cultivo de maíz es particularmente sensible a cualquier estrés, por lo que se puede ver afectado el principal componente de rendimiento del cultivo como lo es el número final de granos (Hall y col., 1981; Fischer y Palmer, 1984; Kiniry y Ritchie, 1985), este período se definió como período crítico. Entonces el número de granos cosechados en el cultivo responde a las variaciones en la tasa de crecimiento que experimentó el cultivo durante este período (Andrade y col., 1996).

El segundo componente de rendimiento, resulta de la duración de su período de llenado y de la tasa a la cual acumula materia seca. Esa acumulación reconoce tres etapas. La primera se extiende desde la

fecundación del ovario hasta cerca de dos semanas posteriores. Durante esta etapa, conocida como fase “lag”, en la cual la espiga completa su alargamiento (Otegui y Bonhomme, 1998) y queda determinado el número de granos cosechables (Cirilo y Andrade, 1994b); queda también determinado el tamaño potencial del grano en función del número de células endospermáticas y gránulos de almidón diferenciados que definen la capacidad posterior del grano como destino de deposición de reservas (Capitanio y col., 1983). En la etapa siguiente, llamada fase de llenado efectivo, el grano incrementa su peso seco sostenidamente en forma lineal y acumula más del 80% del peso final. En la etapa final, la tasa de llenado declina notoriamente hasta hacerse nula al momento de alcanzarse la madurez fisiológica, cuando pierden funcionalidad los haces vasculares que conectaban al grano con la planta madre y éste alcanza su peso seco final.

La escala fenológica más utilizada para describir el desarrollo del cultivo de maíz es la de Ritchie y Hanway (Ritchie y Hanway, 1982), que utiliza caracteres morfológicos externos (macroscópicos).





**Figura 1.** Representación esquemática del ciclo ontogénico del maíz. Se indican los rasgos morfológicos externos (según escala de Ritchie y Hanway, 1982), visibles macroscópicamente. Se indican también los momentos aproximados en que queda fijado el número y tamaño de algunas estructuras de la planta.

### **1.3. Fertilización foliar en el cultivo de maíz**

La fertilización foliar, que es la nutrición a través de las hojas, se utiliza como un complemento de la fertilización al suelo. Bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes participan en la absorción de los iones. Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, el ambiente y la formulación foliar. Dentro de los aspectos de la planta, se analiza la función de la cutícula, estomas y ectodesmos en la absorción foliar. En el ambiente, la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación. En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, nutrimentos y el ion acompañante en la aspersion (Trinidad y Aguilar, 1999).

La fertilización foliar ha despertado un creciente interés en productores y asesores, debido a la aparición de casos en los que ha permitido corregir deficiencias nutricionales de las plantas, promover un buen desarrollo de los cultivos, y mejorar el rendimiento y calidad del producto cosechado (Trinidad y Aguilar, 1999).

Actualmente se sabe que la fertilización foliar puede contribuir en la calidad y en el incremento de los rendimientos de las cosechas, y que muchos problemas de fertilización al suelo se pueden resolver fácilmente mediante la fertilización foliar (Fregoni, 1986).

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrientes aplicados por aspersion (Tisdale y col., 1985); es un tejido laminar formado en su mayor parte por células activas

(parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio (Bidwell, 1979).

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrientes como lo son las raíces; sin embargo, las investigaciones han demostrado que los nutrientes en solución sí son absorbidos, aunque no en toda la superficie de la cutícula foliar, pero sí, en áreas puntiformes las cuales coinciden con la posición de los ectodesmos que se proyectan radialmente en la pared celular. Estas áreas puntiformes sirven para excretar soluciones acuosas de la hoja, como ha sido demostrado en varios estudios. Por lo tanto, también son apropiados para el proceso inverso, esto es, penetración de soluciones acuosas con nutrientes hacia la hoja (Franke, 1986).

Su principal utilidad consiste en complementar los requerimientos de un cultivo que no se pueden abastecer con la fertilización clásica, ya se trate de elementos de baja absorción desde el suelo (Malavolta, 1986), o para fines específicos que requieren la aplicación tardía de los nutrientes para incrementar su concentración en el grano (Fregoni, 1986).

#### **1.4. Sustitución de fertilizantes químicos por biofertilizantes**

La agricultura a nivel mundial ha buscado alternativas biológicas para mejorar la sustentabilidad de la producción de los cultivos. La utilización de biofertilizantes se considera una opción para sustituir parcial o totalmente el uso de los fertilizantes químicos. Las bacterias que interaccionan con plantas son consideradas como una opción viable para desarrollar biofertilizantes (Caballero-Mellado, 2006).

Los biofertilizantes son considerados como un componente del manejo integrado de la nutrición vegetal y han sido definidos como sustancias que contienen microorganismos vivos que, al aplicarse a las semillas, superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizósfera o el interior de la planta y promueven su crecimiento aumentando la disponibilidad de los nutrientes y la sanidad vegetal en la planta hospedera (Vessey, 2003).

En la naturaleza existen bacterias capaces de convertir a la molécula de nitrógeno a amoníaco, mediante la enzima nitrogenasa. En los últimos años ha despertado gran interés el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, denominados también rizobacterias, bioestimulantes, biofertilizantes o inoculantes (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000); los más utilizados son las bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum* para el caso del cultivo de maíz (Holgúin y col.,2003; Irizar y col.,2003).

En la actualidad se plantean alternativas de manejo que permitan mantener o incrementar los rendimientos y reducir la contaminación por el uso excesivo de los agroquímicos, entre las que se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV o PGPR), que al ser aplicadas directamente al suelo o inoculadas en las semillas promueven un mejor desarrollo del crecimiento vegetal. A su vez actúan en la disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes mediante la fijación biológica del nitrógeno (N) y la disolución de minerales, intervienen en la aceleración de procesos de mineralización de insumos orgánicos y la síntesis de fitohormonas que aceleran el desarrollo de las raíces (Ahemad y Kibret, 2013). Asimismo, pueden estimular indirectamente el crecimiento, actuando como agentes biocontroladores (Vessey, 2003).

Las especies de *Azospirillum* han sido encontradas en asociación con raíces de varias gramíneas importantes, como maíz y trigo. La inoculación con *Azospirillum brasilense* ha incrementado entre 30 y 36% la producción de grano y materia seca del cultivo de maíz (García-Olivares y col., 2007).

Esta bacteria se relaciona con la producción de fitohormonas reguladoras, como auxinas, citocininas y giberelinas (Tien y col., 1979; Bottini y col., 1989). En experimentos con condiciones controladas y a campo se han observado importantes cambios en la morfología del sistema radical (Tien y col., 1979). La inoculación de diferentes cultivos con cepas de *Azospirillum sp.* provoca un aumento en el número y densidad de pelos radicales y un acortamiento en el tiempo de su aparición (Tien y col., 1979; Morgenstern y Okon, 1987; Barbieri y Galli, 1993).

La cepa AZ39 de *Azospirillum brasilense* fue seleccionada como el PGPR más eficaz, y fue recomendada para su uso en la formulación de inoculante. Numerosos experimentos de campo desde entonces han demostrado la capacidad de AZ39 para aumentar la productividad de los cultivos de cereales como el trigo, el maíz y el sorgo (Díaz – Zorita y col., 2004; Díaz – Zorita y Grove, 2006).

Otra bacteria simbiótica fijadora de nitrógeno utilizada es *Bradyrhizobium* sp., la cual puede crecer de manera eficiente en las semillas de gramíneas o leguminosas durante la germinación, estimulando el desarrollo de raíces de una manera similar a la de vida libre (Peña-Cabrales y Alexander, 1983).

La cepa E109 de *Bradyrhizobium japonicum* ha sido seleccionada como la cepa más adecuada para la formulación de inoculante de soja en Argentina. Numerosos estudios de campo y laboratorio desde entonces han demostrado la capacidad de E109 para aumentar significativamente la productividad de soja (Ressia y col., 2003; Hume y Blair, 1992). La información con la que se cuenta para esta última bacteria utilizada en el cultivo de maíz es muy escasa o nula.

### **1.5. Sustitución de fertilizantes químicos por bioestimulantes**

La definición del Dr. Patrick Du Jardin es la más aceptada y distribuida a nivel internacional y menciona que “Un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismo que, al aplicarse a las plantas, es capaz de mejorar la eficacia de éstas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico o mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido en nutrientes de la sustancia”. Por extensión, también se considera como un bioestimulante vegetal a los productos comerciales que contienen mezclas de estas sustancias o microorganismos.

El uso de algas como fuente de materia orgánica y como fertilizante es muy antiguo en la agricultura, pero el efecto bioestimulante ha sido detectado muy recientemente. Esto ha disparado el uso comercial de extractos de algas

que contribuyen al efecto promotor del crecimiento del cultivo e incluyen micro y macronutrientes, esteroides y hormonas.

Una de las algas utilizadas con tal fin es el caso de *Undaria pinnatifida*, que además es reconocida mundialmente por ser un alga comestible. Las algas y sus derivados mejoran el suelo y vigorizan las plantas, incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas, por lo que en la medida que esta práctica se extienda irá sustituyendo el uso de los productos químicos de síntesis por orgánicos, favoreciendo así una agricultura sostenible. Las algas tienen mejores propiedades que los fertilizantes porque liberan más lentamente el nitrógeno, y además son ricas en microelementos. En la actualidad no hay trabajos de investigación sobre *U. pinnatifida* que amplíen el espectro de información, pero se asume que la principal justificación sobre el efecto benéfico sobre los vegetales es la gran concentración que tienen las algas de fitohormonas, como auxinas, giberelinas y ácido jasmónico. Se evidencian antecedentes favorables con investigaciones, que aseveran el accionar positivo del alga *Macrocystis pyrifera* sobre el cultivo de maíz como es el caso de uno de los trabajos de los investigadores Perticari, A., Piccinetti, C. F.; Barusso, M.B; Chamula, C y Ares, R., pertenecientes a INTA y a Biotec S.A.

## **2. Hipótesis**

- 1- El efecto de la aplicación foliar de alga marina se traduce en un aumento del rendimiento en el cultivo de maíz.
- 2- El efecto de la aplicación foliar combinada de alga marina y bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se traduce en un aumento del rendimiento en el cultivo de maíz.

## **3. Objetivo general**

Evaluar los efectos de la aplicación foliar con extracto de alga marina y cepas PGPR solas y en combinación en el cultivo de maíz.

#### **4. Objetivos específicos**

- Determinar componentes del carácter rendimiento como:
  - Peso de mil semillas
  - Tamaño y número de espigas por tratamiento
  - Número de hileras y granos por espiga
  - Rendimiento (Kg)
- Evaluar características morfológicas de los distintos tratamientos: altura total de la planta a madurez fisiológica, altura a la inserción de espiga principal.
- Evaluar rendimiento en el cultivo de maíz bajo el efecto de la aplicación foliar de diferentes PGPR.
- Evaluar rendimiento en el cultivo de maíz bajo el efecto de la aplicación del alga marina *Undaria pinnatífida*.
- Evaluar rendimiento en el cultivo de maíz bajo el efecto de la aplicación en conjunto del alga marina con PGPR's.

#### **5. Materiales y métodos**

##### **5.1. Localización del área de estudio**

Para llevar a cabo los objetivos, se realizó un ensayo a campo (Campo Experimental UNNOBA, ubicado en el partido de Junín, latitud 34°28'51.38"S y longitud 60°52'29.91"O) el 31 de octubre de 2018.

##### **5.2. Material biológico**

El preparado de algas de *Undaria pinnatífida* fue cedido por la empresa Laboratorios BIOTEC SA y se utilizó a razón de 4 litros por hectárea según marbete del producto. Las cepas de PGPR que se emplearon fueron *Bradyrhizobium japonicum* E109 y *Azospirillum* AZ39 provistas por IMyZA

(Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola – INTA Castelar) y la dosis empleada fue de 2 litros por hectárea según recomendación del instituto.

### 5.3. Diseño y tamaño de la parcela experimental

El diseño fue en 4 bloques formados por 6 parcelas. Cada una de éstas compuestas de 5 surcos (de los cuales solo se utilizaron 3 para la evaluación y toma de datos, los extremos fueron considerados como surcos de bordura) espaciados a 0,7 m de distancia.

Para el experimento se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados, compuesto por 5 tratamientos + 1 testigo:

- **T0:** testigo;
- **T1:** *Bradyrhizobium japonicum* E109;
- **T2:** *Azospirillum* AZ39;
- **T3:** *U. pinnatifida* + *Bradyrhizobium japonicum* E109;
- **T4:** *U. pinnatifida* + *Azospirillum* AZ39;
- **T5:** *U. pinnatifida*;

Quedando dispuestos de la siguiente manera:

Bloque 1	T4	T2	T0	T3	T1	T5
Bloque 2	T5	T1	T2	T0	T3	T4
Bloque 3	T0	T3	T1	T5	T4	T2
Bloque 4	T2	T4	T3	T1	T5	T0

\*T= Tratamiento

### 5.4. Conducción del experimento

Se realizaron labores culturales para preparar el suelo. El ensayo estuvo libre de malezas, ya que previo a la siembra se realizó un barbecho químico con 2 lts/ha de Glifosato, 2 lts/ha de Atrazina y 1 lts/ha de Metalocloro.

Se sembró un híbrido comercial AG 7004 MGRR2 a una distancia de 0,70 m entre surcos. La fertilización se basó en una mezcla física fosforada

(7% N, 40% P, 5% S y 8%Ca), a una dosis de 80 kg/ha. En cada tratamiento se marcaron 10 plantas de los 3 surcos centrales, sobre los cuales se realizaron las aplicaciones foliares correspondientes en estadio V6.

Las características que se evaluaron para llevar a cabo los objetivos fueron: peso de mil semillas (P1000), número de granos por unidad de superficie (NG) y rendimiento de granos por hectárea (RG), número de espigas por planta, número de hileras y granos por espiga, altura de planta hasta panoja, y altura de planta hasta espiga principal.

### **5.5. Toma de datos**

Cuando el cultivo alcanzó el estadio VT (panojamiento), para cada uno de los tratamientos, se realizó la medición de altura sobre las 10 plantas marcadas de los 3 surcos centrales. Se consideraron 2 mediciones de altura, una que se realizó desde la superficie del suelo hasta espiga principal y la otra desde la superficie del suelo hasta la panoja (altura de planta entera)

La cosecha se realizó en madurez fisiológica (R6). Se cosecharon primera y segunda espiga (en caso de que hubiera), de cada una de las 10 plantas marcadas y se realizó la estimación de densidad de plantas a cosecha.

De cada una de las espigas se registraron datos de diámetro de espiga (mm), número de granos por espiga, longitud de la espiga (cm). Además, se determinó el número de espigas por metro cuadrado. Para cada tratamiento se calculó el peso de mil semillas (P1000) y el número de granos (NG) por metro cuadrado. A partir de estos datos, se estimó el rendimiento en kilogramos por hectárea.

### **5.6. Análisis estadístico**

Los datos registrados durante el experimento fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANOVA). Se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey y DGC a un nivel de significancia del 1%. Para ello se utilizó el software estadístico InfoStat/profesional (versión 1.1).



## 6. Resultados

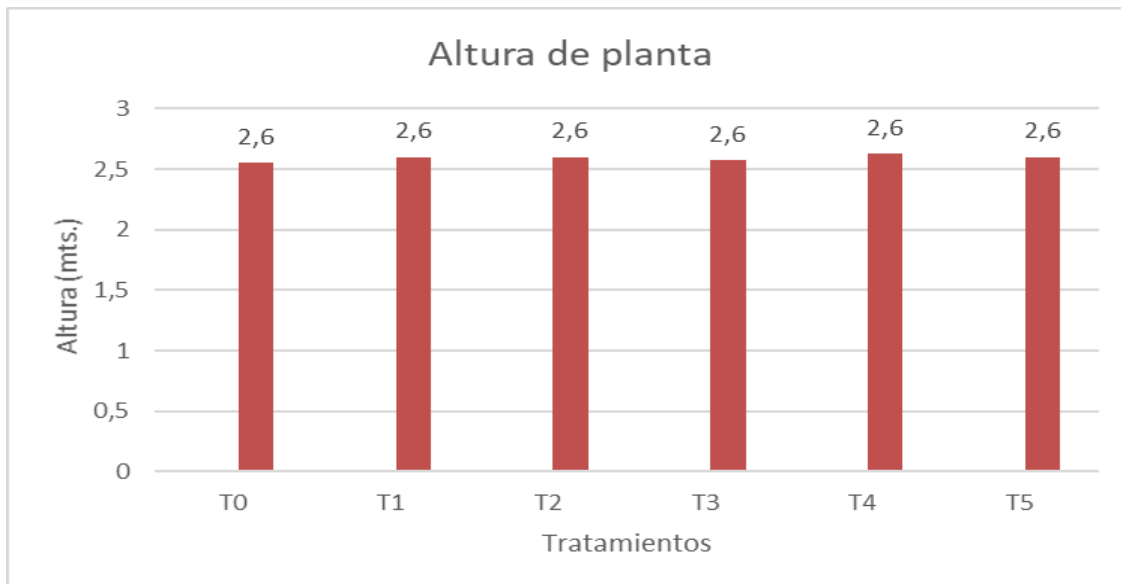
### 6.1. Datos morfológicos

#### 6.1.1. Altura de las plantas

En la medición de la altura total de las plantas no se visualizaron diferencias en ninguno de los tratamientos (tabla 1).

Tratamientos	Repeticiones (mts.)				Promedio de Altura de planta
	1	2	3	4	
T0	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6
T1	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
T2	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
T3	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6
T4	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
T5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

**Tabla 1.** Valores promedio de la altura de las plantas de los diferentes tratamientos.



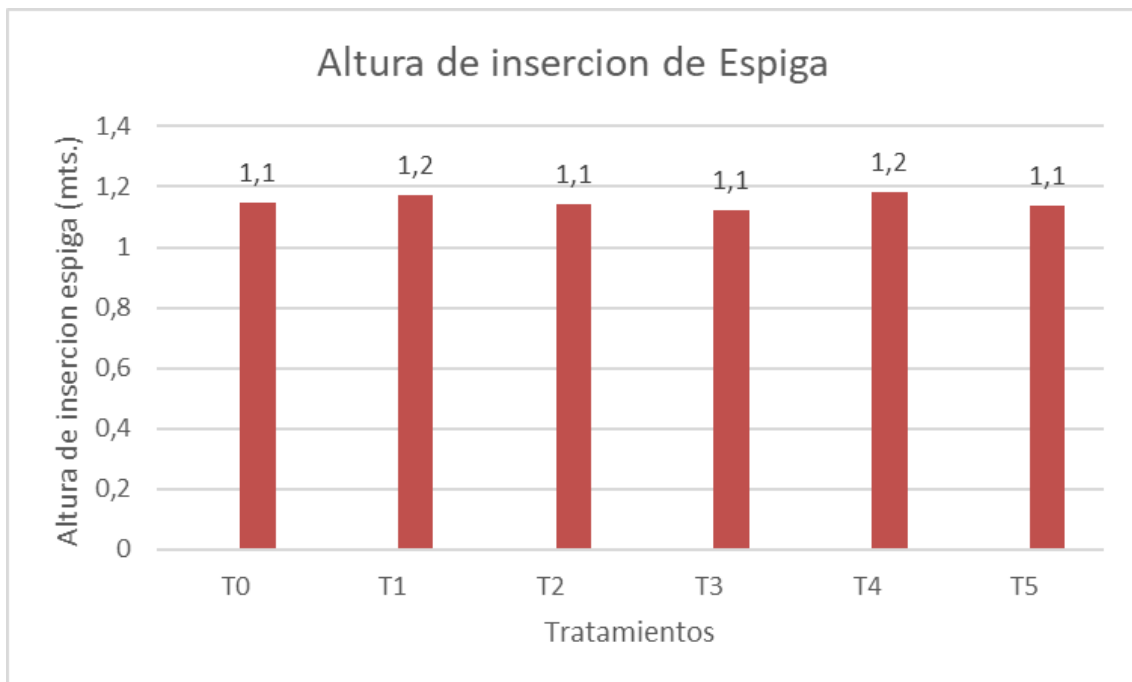
**Figura A. Altura promedio de plantas.** El gráfico muestra el promedio de la altura de las plantas con respecto a los tratamientos aplicados.

### 6.1.2. Altura de inserción de espigas principales.

Tanto en T1 como en T4 se observan valores levemente superiores respecto al resto de los tratamientos (tabla 2).

Tratamientos	Repeticiones (mts.)				Promedio de altura de inserción de espiga
	1	2	3	4	
T0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1
T1	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2
T2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1
T3	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
T4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
T5	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1

**Tabla 2.** Valores promedio de la altura de inserción de espigas principales de los diferentes tratamientos.



**Figura B.** Altura promedio de inserción de espigas principales. El gráfico muestra el promedio de la altura de las espigas principales con respecto a los tratamientos aplicados.

## 6.2. Parámetros de rendimiento

### 6.2.1. Peso de 1000 semillas.

Se encontró que T2 obtuvo mayor peso de mil semillas, seguido por: T4, T5, T0, T3 y por último T1 (tabla 3).

Tratamientos	Repeticiones (grs.)				Promedio
	1	2	3	4	
T0	265,6	313	355,5	293,7	307,0
T1	256,4	306,2	302,5	285,8	287,7
T2	310,4	312,1	340,6	331,2	323,6
T3	250,6	309	318,2	300,2	294,5
T4	305,7	299,1	358,8	285,9	312,4
T5	292,1	319,7	314,5	304,8	307,8

**Tabla 3.** Valores promedio del peso de 1000 semillas de los diferentes tratamientos.



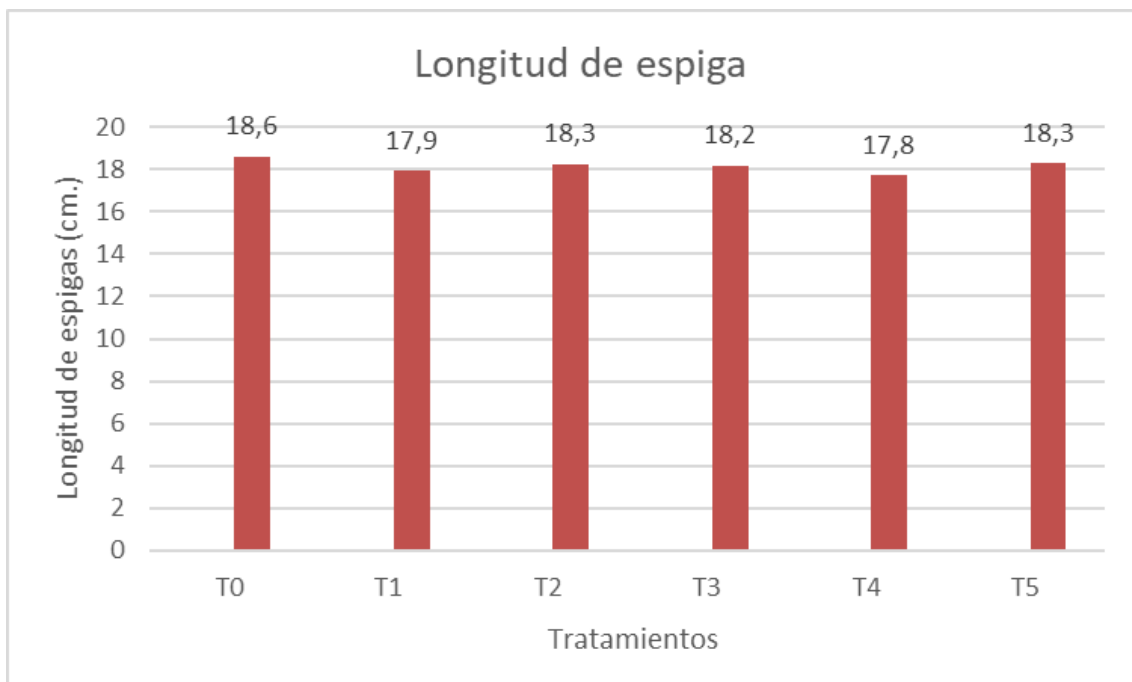
**Figura C. Peso de 1000 semillas.** El gráfico muestra el promedio de los pesos de 1000 semillas con respecto a los tratamientos aplicados.

### 6.2.2. Tamaño de espigas.

Se observó que las espigas de T0 tuvieron mayor longitud, seguidas por: T2 y T5, T3, T1 y por último T4 (tabla 4).

Tratamientos	Repeticiones (cm.)				Promedio
	1	2	3	4	
T0	19,2	18,5	18,9	18,0	18,6
T1	16,9	17,5	18,3	19,0	17,9
T2	17,8	18,1	18,8	18,4	18,3
T3	17,6	17,8	18,26	19,2	18,2
T4	17,3	17,2	18,9	17,7	17,8
T5	18,0	18,5	18,1	18,6	18,3

**Tabla 4.** Valores promedio de la longitud de las espigas de los diferentes tratamientos.



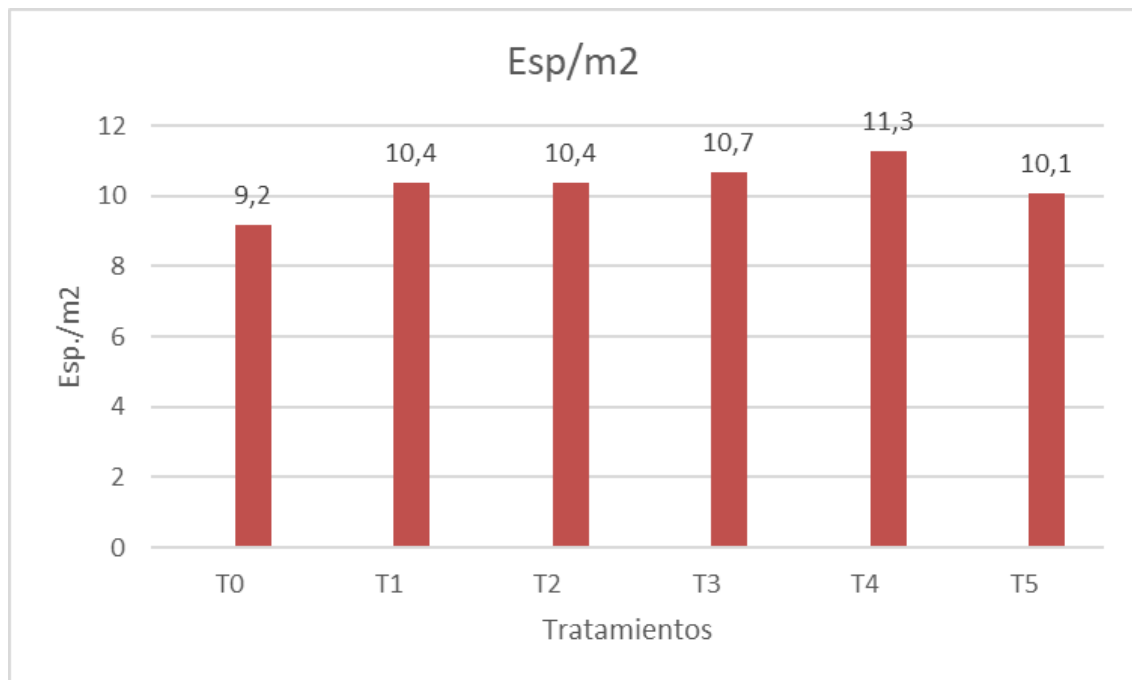
**Figura D. Longitud de las espigas.** El gráfico muestra el promedio de la longitud de las espigas con respecto a los tratamientos aplicados.

### 6.2.3. Numero de espigas/m<sup>2</sup>

Se observó que en T4 se obtuvieron más espigas/m<sup>2</sup>, seguido por: T3, T1 y T2, T5 y por último T0 (tabla 5).

Tratamientos	Repeticiones (n° esp/m2.)				Promedio de esp./m2
	1	2	3	4	
T0	7,2	10,8	10,9	7,8	9,2
T1	7,2	12	10,9	11,4	10,4
T2	9,6	10,2	10,9	10,8	10,4
T3	10,2	11,4	11,5	9,6	10,7
T4	10,8	12	11,5	10,8	11,3
T5	8,4	9,6	10,9	11,4	10,1

**Tabla 5.** Valores promedio del número de espigas por metro cuadrado de los diferentes tratamientos.



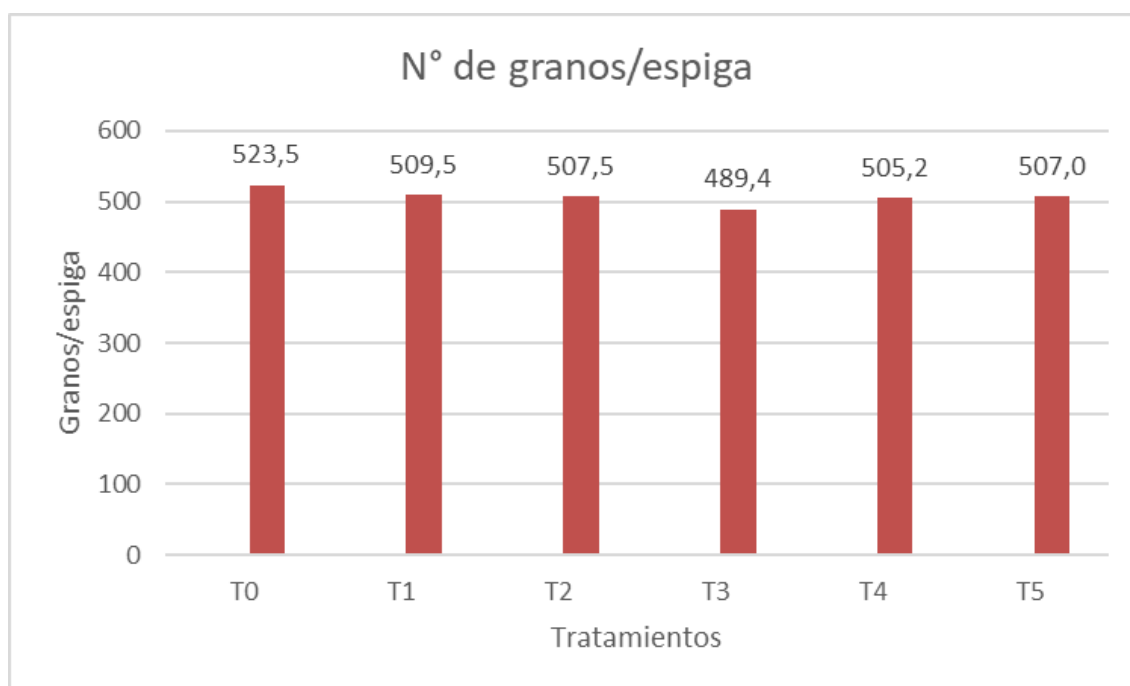
**Figura E. Espigas por metro cuadrado.** El gráfico muestra el promedio del número de espigas por metro cuadrado con respecto a los tratamientos aplicados.

### 6.2.4. Número de granos/espiga

Se encontró que en T0 se obtuvieron más granos/espiga, seguido por: T1, T2, T5, T4 y por último T3 (tabla 6).

Tratamientos	Repeticiones (Kgs.)				Promedio de N° de granos/espiga
	1	2	3	4	
T0	532,3	534,4	538,8	488,3	523,5
T1	540,0	508,6	471,6	517,9	509,5
T2	522,9	528,4	461,4	517,3	507,5
T3	512,8	492,8	479,8	472,0	489,4
T4	512,4	467,0	545,2	496,3	505,2
T5	522,3	543,0	469,6	493,2	507,0

**Tabla 6.** Valores promedio del número de granos por espigas por metro cuadrado de los diferentes tratamientos.



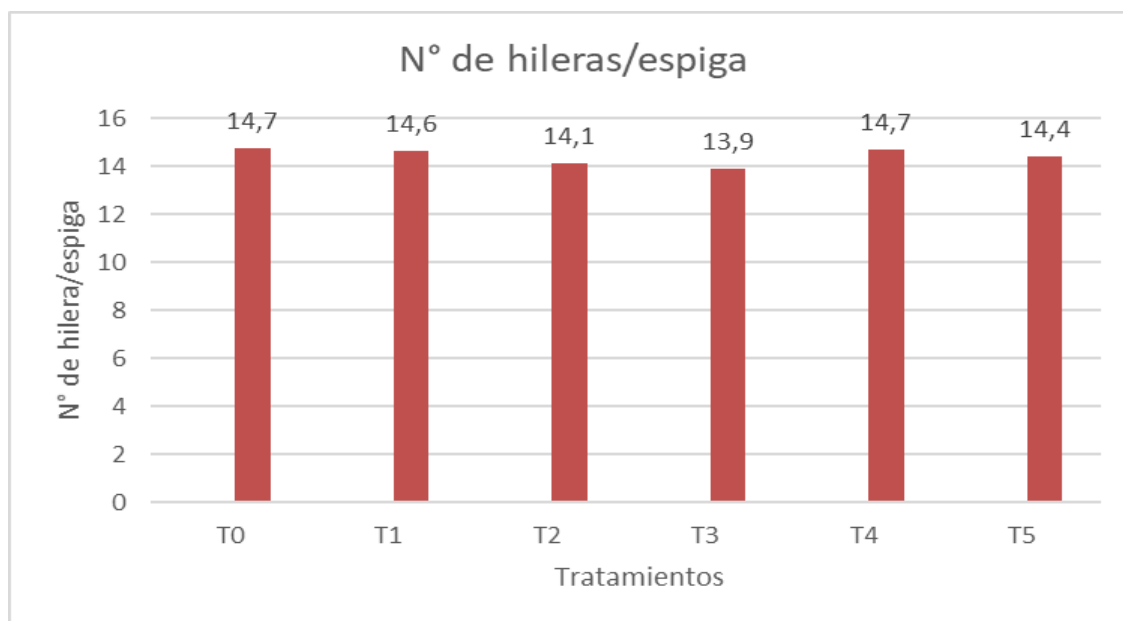
**Figura F. Número de granos por espiga.** El gráfico muestra el promedio del número de granos por espigas con respecto a los tratamientos aplicados.

### 6.2.5. Número de hileras/espiga.

Se encontró que T0 y T4 obtuvieron más hileras/espigas que T1, T5, T2 y T3 respectivamente (tabla 7).

Tratamientos	Repeticiones (N° de hileras/espiga)				Promedio de N° de hileras/espiga
	1	2	3	4	
T0	14,5	15,6	14,7	14,2	14,7
T1	15,7	14,0	14,8	14,0	14,6
T2	14,5	13,9	13,8	14,2	14,1
T3	14,2	13,3	14,2	13,9	13,9
T4	14,7	14,6	15,1	14,4	14,7
T5	14,6	14,6	14,4	13,9	14,4

**Tabla 7.** El promedio surge del total de espigas cosechadas en las 10 plantas marcadas de cada repetición para cada uno de los tratamientos.



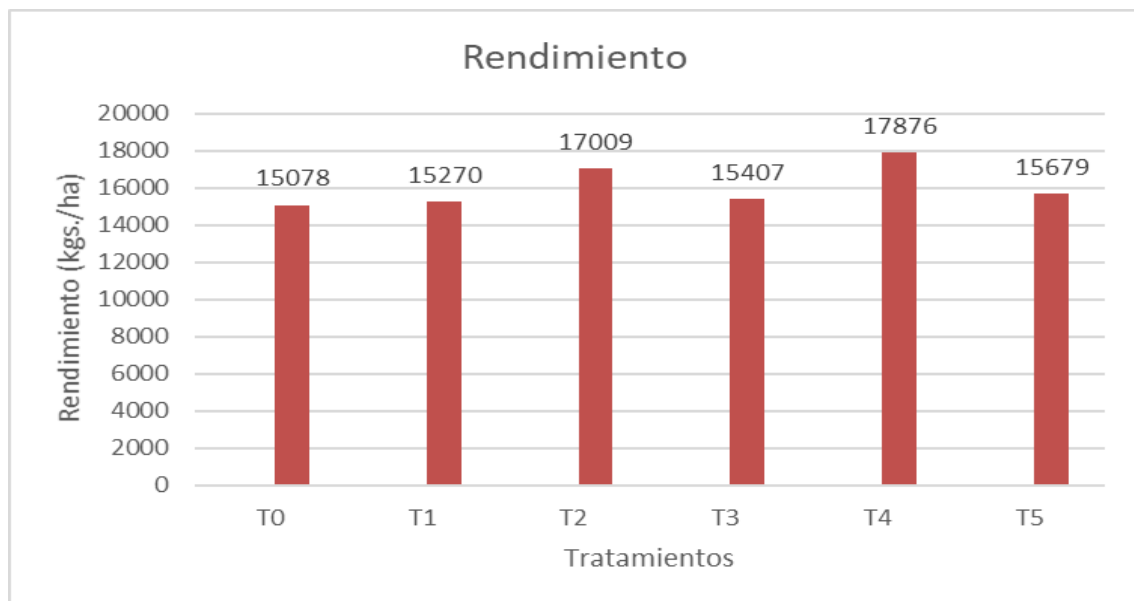
**Figura G. Número de hileras por espiga.** El gráfico muestra el promedio del número de hileras por espiga de todas las espigas cosechadas en las 10 plantas marcadas de cada repetición para cada uno de los tratamientos.

### 6.2.6. Rendimiento (kg/ha)

Se pudo determinar que T4 generó mayor rendimiento, seguido por: T2, T5, T3, T1 y por último T0 (tabla 8).

Tratamientos	Repeticiones (Kgs./ha)				Promedio de Rto. (Kgs./ha)
	1	2	3	4	
T0	10180	18066	20878	11186	15078
T1	9969	18686	15550	16874	15270
T2	15581	16820	17130	18505	17009
T3	13108	17361	17557	13603	15407
T4	16919	16762	22496	15325	17876
T5	12815	16665	16098	17136	15679

**Tabla 8.** Valores promedio de rendimiento por hectárea de los diferentes tratamientos.



**Figura H. Rendimiento.** El gráfico muestra el promedio de rendimiento por hectárea con respecto a los tratamientos aplicados.



### 6.3. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico para el rendimiento ya que fue la variable determinante en dicha investigación.

#### 6.3.1. Análisis de varianza

##### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	24	0,57	0,34	15,39

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	120851378,83	8	15106422,35	2,48	0,0619
Bloques	95420313,50	3	31806771,17	5,21	0,0115
Tratamientos	25431065,33	5	5086213,07	0,83	0,5457
Error	91496711,00	15	6099780,73		
Total	212348089,83	23			

La probabilidad asociada (valor p) es mayor al nivel de significancia  $\alpha$  al 1% (0,01) en ambos casos, para las repeticiones y para los tratamientos.

De esta forma se confirma que no hay heterogeneidad, por lo tanto, no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

#### 6.3.2. Test de comparaciones múltiples

Para confirmar los resultados obtenidos a través del Análisis de Varianza se estima mediante los componentes de rendimiento un rinde promedio de los tratamientos y se realizan las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y DGC.

##### Test:DGC Alfa=0,01 PCALT=4921,0235

Error: 6099780,7333 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T	15077,50	4	1234,89	A
1	15269,75	4	1234,89	A
3	15407,25	4	1234,89	A
5	15678,50	4	1234,89	A
2	17009,00	4	1234,89	A
4	17875,50	4	1234,89	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

**Test: Tukey Alfa=0,01 DMS=7156,87455**

Error: 6099780,7333 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T	15077,50	4	1234,89	A
1	15269,75	4	1234,89	A
3	15407,25	4	1234,89	A
5	15678,50	4	1234,89	A
2	17009,00	4	1234,89	A
4	17875,50	4	1234,89	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

A partir de los test anteriormente realizados se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

### 6.3.3. Planteo de hipótesis de Normalidad

Ho) Normalidad      H1) No es Normal

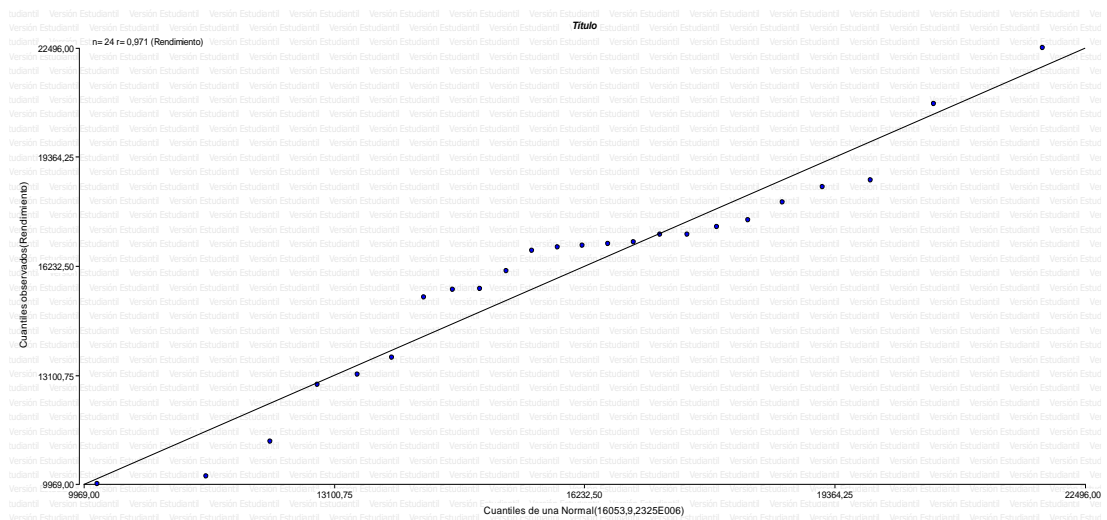
**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Rendimiento	24	16052,92	3038,51	0,94	0,3422

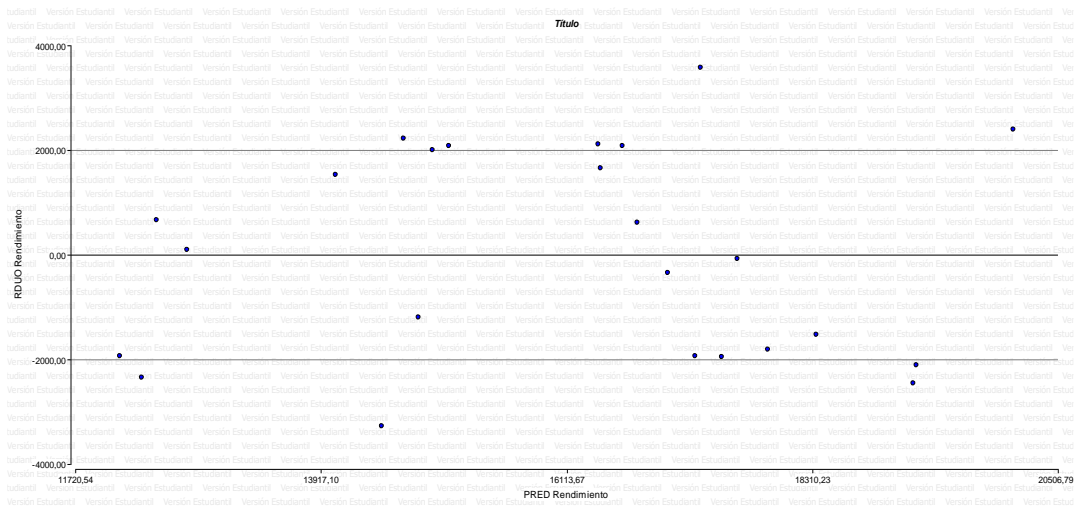
El valor p es mayor que el  $\alpha$  (0,01), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, los supuestos son normales.

Esto se demuestra también gráficamente:

#### Q-Q Plot



# Dispersión



## 7. Discusión

En el presente trabajo se ha estudiado el efecto de la aplicación foliar de *U. pinnatifida* y de promotores de crecimiento, solos y combinados para determinar si existe efecto sobre el rendimiento del cultivo de maíz. El objetivo del presente trabajo fue evaluar dichos efectos de la aplicación foliar. El enfoque del estudio se realizó a nivel de cultivo.

Si bien no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, en dos de ellos se evidenciaron efectos positivos sobre el rendimiento.

Con respecto a los datos morfológicos, en la tabla 1 y figura A, se puede evidenciar que no se produjo ninguna diferencia significativa entre los tratamientos.

En la tabla 2 y figura B se puede apreciar una mínima diferencia en la altura de inserción de la espiga principal en el tratamiento de AZ39 con *U. pinnatifida*, pero no es un dato que resalte tanto, ya que en el tratamiento con E109 también se vio esa diferencia.

Cuando se analizan los componentes de rendimiento, se puede observar que en la tabla 3 y figura C el tratamiento con AZ39, sola o en combinación con *U. pinnatifida*, es el que muestra una diferencia en el peso y se puede decir que es dato a tener en cuenta a la hora de determinar el rendimiento.

Con respecto a la longitud de las espigas, el testigo obtuvo una leve diferencia con respecto a los demás tratamientos.

En la tabla 5 y la figura E vemos como marca una diferencia el tratamiento AZ39 con *U. pinnatifida* con respecto al resto de los tratamientos, generando más espigas/m<sup>2</sup>. Pero cuando se ve el número de granos/espiga y el número de hileras/espiga, el testigo sobresalió con respecto a los demás tratamientos.

Finalmente se observa que en la tabla 8 y figura H, los promedios de los rendimientos se inclinan hacia los tratamientos que poseen únicamente AZ39 y AZ39 en combinación con *U. pinnatifida*. Para corroborar estos datos se realizaron las pruebas de DGC y Tuckey. Ambos test demuestran falta de heterogeneidad entre los tratamientos, lo que, si bien se observó un incremento importante en el rendimiento a favor de estos tratamientos, el resultado de las pruebas evidencia que no hay respuesta significativa estadísticamente.

La inoculación con bacterias promotoras de crecimiento tales como el género *Azospirillum*, constituyen una herramienta económica y ecológicamente sustentable que se está difundiendo local e internacionalmente (Bashan y col., 2004; Caballero-Mellado, 2004; Cassán y García de Salamone, 2008). Su aplicación sobre cultivos como el maíz es cada vez más habitual. En Argentina, se encuentran disponibles para los productores agropecuarios varias marcas de inoculantes comerciales de *Azospirillum* (Maddonni y col., 2004).

Tal como se ha descripto anteriormente, respecto a la bacteria *Azospirillum* se han reportado resultados similares en maíz a esta investigación, pero los mismos surgen de inoculaciones a semilla, lo que otorga importancia a los resultados de este trabajo y plantea que sería interesante seguir explorando acerca de los beneficios de esta bacteria sobre diferentes tipos de aplicaciones y cultivos.

En cuanto a las algas marinas, si bien en las aplicaciones en mezcla con *B. japonicum* y de forma individual generaron menos de un 5 % de incremento contra el testigo, en la aplicación en conjunto con *A. brasilense* generó el máximo incremento del ensayo, lo que podría significar un potenciamiento del efecto antes descripto del *Azospirillum*.

## **8. Conclusión**

En el presente trabajo ambas hipótesis fueron parcialmente rechazadas. Sin embargo, se evidenciaron ventajas en dos aplicaciones respecto al resto, lo cual se tradujo en mayor rendimiento, aunque esto no fue estadísticamente significativo. La diferencia en rendimiento de dichas aplicaciones podría estar explicado por la acción de *Azospirillum AZ39*, tanto utilizado sólo como en combinación con *U. pinnatífida*.

Si bien *U. pinnatífida* no evidenció un incremento homogéneo en sus tratamientos, se puede observar un pequeño incremento en las mezclas con las PGPR, lo que puede significar un potenciamiento del efecto que generan las bacterias sobre el cultivo.

Si bien no se constataron respuestas estadísticamente significativas, en base a los incrementos obtenidos en los tratamientos *A. brasilense* y *U. pinnatífida* se recomiendan futuros ensayos para evaluar el rendimiento en diferentes áreas de estudio, fechas de siembra, híbridos, momentos de aplicación, dosis y modo de aplicación, y un estudio económico que en este caso no se pudo realizar ya que el material biológico de algas marinas se encontraba en fase de experimentación, no siendo aún un material comercial.

## 9. Bibliografía

- Ahemad, M., y Kibret, M., 2013.** Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. Journal of King Saud University-Science. En prensa.
- Alarcón, A., y Ferrera-Cerrato, R., 2000.** “Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura”, Rev. Agric.Téc. México, Vol. 26.
- Andrade, F.H., Cirilo, A.G., Uhart, S.A., y Otegui, M.E., 1996.** Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp.
- Barbieri, P., y Galli, E., 1993.** Effect on wheat root development of inoculation with *Azospirillum brasilense* mutant with altered indole-3acetic acid production. Res. Microbiol.144:69-75.
- Bashan, Y., Holguin, G., y LE de Bashan., 2004.** *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol. 50: 521-527.
- Bidwell, R.G.S., 1979.** Plant physiology. MacMillan Publishing Co, Inc. New York, N.Y. USA.
- Bottini, R., Fulchieri, M., Pearce, D., y Pharis, R., 1989.** Identifications of gibberellins A1, A3 and iso A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. Plant Physiol. 90:45-47.
- Caballero-Mellado, J., 2004.** Uso de *Azospirillum* como alternativa tecnológica viable para cultivos de cereales. En: MA Monzón de Asconegui; IE García de Salamone; S Miyazaki (Eds.). Biología del Suelo. Transformación de la materia orgánica. Usos y biodiversidad de los organismos edáficos. Editorial Facultad de Agronomía (EFA).
- Caballero-Mellado, J., 2006.** Agriculture microbiology and microbe interaction with plants. Rev. Latinoam. Microbiol. 48(2): 154-161.
- Capitanio, R., Gentinetta, E., y Motto, M., 1983.** Grain weight and its components in maize inbred lines. Maydica 28:365-379.

- Cassan, F.D., y García de Salamone, I.E., 2008.** Azospirillum sp.: Cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiología.
- Cirilo, A.G. y Andrade F.H., 1994 a.** Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. Crop Sci. 34:1039-1043.
- Cirilo, A.G. y Andrade, F.H., 1994 b.** Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. Crop Sci. 34:1044-1046.
- Díaz-Zorita, M., Baliña, R., Fernández-Canigia, M., Penna, C., y Peticari, A., 2004.** Inoculación en el campo de trigo y maíz con una formulación líquida de Azospirillum brasilense en las Pampas, Argentina, ASA-CSSA-SSSA Los resúmenes de las reuniones anuales Internacional Seattle, EE.UU., p. 4898.
- Díaz-Zorita, M. y Grove, J., 2006.** Respuesta grano de trigo a la fertilización de nitrógeno y de inoculación en el campo con una formulación líquida de Azospirillum brasilense, ASA-CSSA-SSSA resúmenes de congresos anuales.
- Fischer, K.S., y Palmer, F.E., 1984.** Tropical maize. In P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). The physiology of tropical field crops. Wiley. pp 213-248.
- Franke, W., 1986.** The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. pp. 17-25. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Fregoni, M., 1986.** Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- García-Olivares, J. G., Moreno-Medina, V.R., Rodríguez-Luna, I.C., Mendoza-Herrera, A., y Mayek-Pérez, N., 2007.** "Efecto de cepas de Azospirillum brasilense en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz", Rev. Fitotec.México. Vol. 30(3).

- García, S. D., 2017.** Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales Categorías y Regulación a Nivel Mundial. Serie Nutrición Vegetal Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Hall, A.J., Lemcoff, J.H., y Trapani, N., 1981.** Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26:19-38.
- Holguín, G., Bashan, Y., Puente, M.E., Carri-Ilo, A., Bethlenfalvay, G., Rojas, A., Vázquez, P., Toledo, G., Bacilio-Jiménez, M., Glick, B.R., González de-Bashan, L.E., Lebsky, V., Moreno, M., y Hernández, J.P., 2003.** “Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizósfera: avances de investigación”, *Rev. Agric.Téc. Méx.* Vol. 29.
- Hume, D., y Blair, D., 1992.** Efecto del número de *Bradyrhizobium japonicum* aplica en inoculantes comerciales el rendimiento de la soja en Ontario. *Poder. J. Microbiol.*, pp. 588-593. Indianápolis, EE.UU., p. 25031.
- Irizar, G.M., P. Vargas, P., Garza, D., Tut, C., Rojas, M., Trujillo, A., García, R., Aguirre, D., Martínez, J., Alvarado, S., Grageda, O., Valero, J., y Aguirre, J., 2003.** “Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México”, *Rev. Agric.Téc. México*, Vol. 29.
- Kiniry, J.R., y Ritchie, J.T., 1985.** Shade-sensitive interval of kernel number in maize. *Agron. J.* 77:711-715.
- Maddoni, G.A., Ruiz, R.A., Vilariño, P., y García de Salamone, I.E., 2004.** Fertilización en los cultivos para grano. En: E Satorre; R Benech Arnold; GA Slafer; EB de la Fuente; DJ Miralles; ME Otegui; R (Eds.). *Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo.* Eds. Editorial Facultad de Agronomía.
- Malavolta, E., 1986.** Foliar fertilization in Brazil.- Present and perspectivas. pp. 170-192. In: A. Alexander (ed.). *Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering AgrochemicalDivision.* Berlin. 1985.
- Morgenstern, E., y Okon, Y., 1987.** The effect of *Azospirillum brasilense* on root morphology in seedlings of *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. *Ari. Soil Res. Rehabíl.* 1:115-127.



- Otegui, M.E., 1995.** Prolificacy and grain yield components in modern argentinean maize hybrids. *Maydica*, 40:371-376.
- Otegui, M.E., y Bonhomme, R., 1998.** Grain yield components in maize. I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Res.*, 56:247-256.
- Paliwal, R.L., Granados, G., Lafitte, H.R., Violic, A.D., y Marathée, J.P., 2001.** El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Introducción al maíz y su importancia. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: 1-3 pp.
- Peña-Cabrales, J., y Alexander, M., 1983.** El crecimiento de *Rhizobium* en suelos no enmendada *Soil Sci. A.m. J.*, pp. 81-84.
- Perticari, A., Piccinetti, C. F., Barusso, M. B., Chamula, C., y Ares, R., 2013.** Efectos positivos sobre la producción de maíz utilizando extracto liquido de algas de *Macrocystis pyrifera* solo o en combinación en cepas PGPR.
- Ressia, J., Lázaro, L., Lett, L., Mendivil, G., Portela, G., y Balbuena, R., 2003.** Los sistemas de labranza y la inoculación en soja. Efectos sobre el crecimiento y rendimiento *Agrociencia*, pp. 167-176.
- Ritchie, S.W., y Hanway, J.J., 1982.** How a corn plant develops. Iowa State Univ. Special Report 48.
- Tien, T., Gaskins, M., y Hubbell, D., 1979.** Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum*) *Appl. Environ. Microbiol.* 37: 1016-1024.
- Tisdale, S.W., Nelson, W.L., y Beaton, J.D., 1985.** Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA.
- Trinidad, A., y Aguilar, D., 1999.** Fertilizacion foliar, respaldo importante en el rendimiento de cultivos. *Terra Volúmen 17 número 3*, 247:255.
- Veseey, J.K., 2003.** Plant growth promoting rhizobacterias as biofertilizers. *Plant and Soil.* 255: 571-586.