



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Comparación del efecto de tres biofertilizantes: Biol, Algas marinas y  
Espirulina (*Arthrospira platensis*), en la producción orgánica de lechuga  
(*Lactuca sativa*)**

Coronel Quelal, Alex Nicolas

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

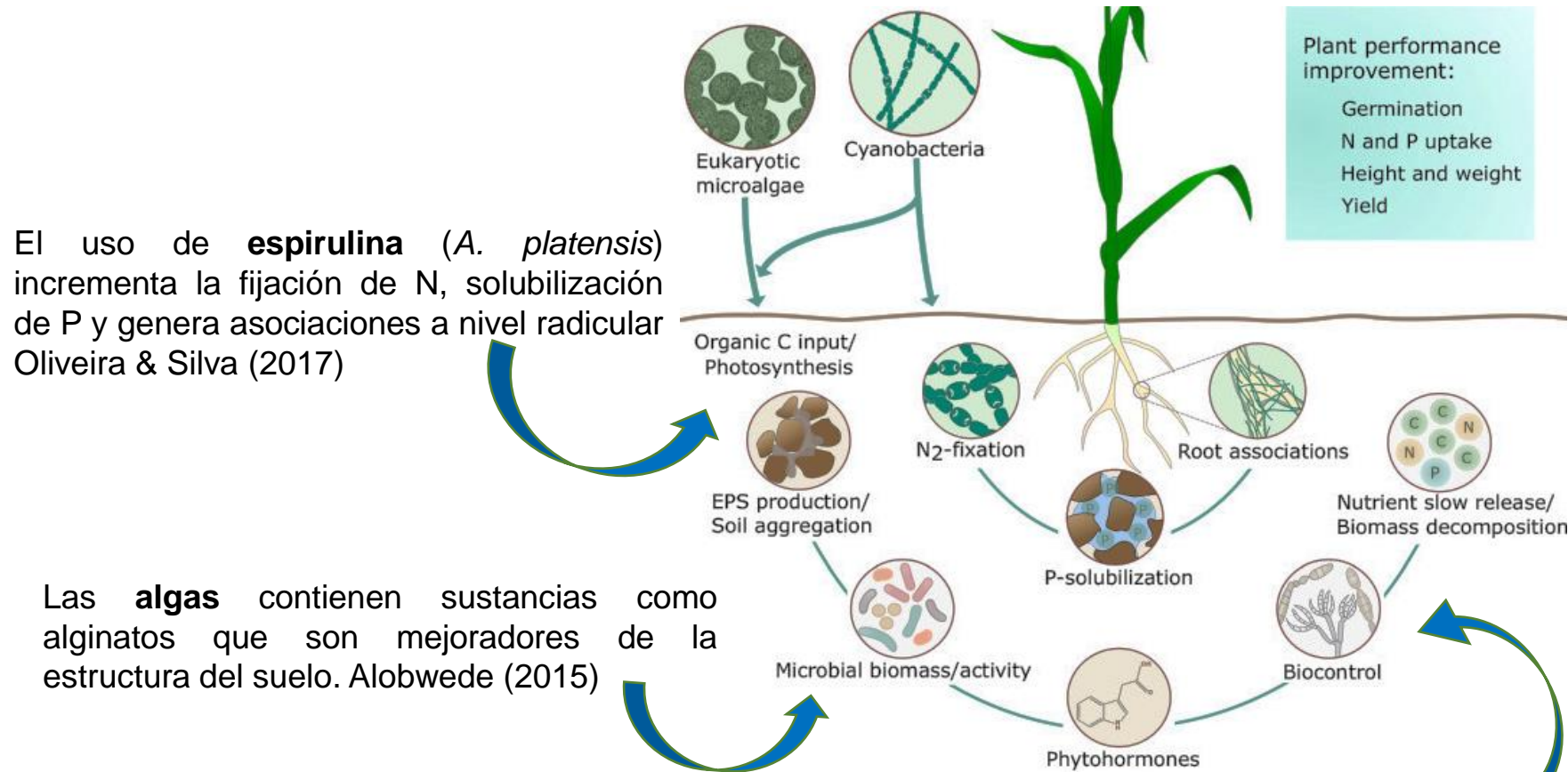
Dra. Elizabeth Urbano Salazar PhD.

14 de Noviembre del 2022



# Introducción

## Uso de Algas en Nutrición y Fertilización Vegetal



El uso de **espirulina** (*A. platensis*) incrementa la fijación de N, solubilización de P y genera asociaciones a nivel radicular Oliveira & Silva (2017)

Las **algas** contienen sustancias como alginatos que son mejoradores de la estructura del suelo. Alobwede (2015)

Mejora del desempeño  
Germinación  
Peso y talla  
Absorción de N-P-K  
Rendimiento

Los extractos de **algas marinas** inducen reacciones generadoras de biomasa microbial, fitohormonas así como absorción de nutrientes. López & Martínez (2020)

# Justificación

## Agricultura sostenible y los ODS



Promover explotaciones sustentables y sostenibles

Procesos amigables con el medio ambiente

Garantizar la calidad de vida y trabajo de las personas así como del entorno

## Explotación de recursos acuáticos



El mar se vuelve más explotable

*Es decir nuevas fuentes de recursos*

Proceso de cultivo ayuda a **“captar CO2”**



**Nuevas técnicas** dentro de la Agricultura Orgánica



## Producción de Fertilizantes

Altas emisiones de CO2 durante el proceso de producción



Generación de residualidad  
Uso de combustibles fósiles  
Incurción en gastos elevados

# Objetivos

## **Objetivo general**

Comparar el efecto de tres biofertilizantes (biol, algas marinas y espirulina) en la producción orgánica de lechuga (*Lactuca sativa*) en la parroquia de Fajardo- Rumiñahui.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar los parámetros agronómicos y productivos en (*Lactuca sativa*) expuestos a biol, algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) y espirulina (*Arthrospira platensis*).
- Determinar el efecto de tres biofertilizantes: biol, algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) y espirulina (*Arthrospira platensis*) en la respuesta fisiológica y nutricional del cultivo.
- Establecer el tratamiento más económico mediante un análisis de presupuesto parcial.

# Hipótesis

---

## ***Hipótesis alternativa***

Las plantas de *Lactuca sativa* tratadas con fertilizante de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) y espirulina (*Arthrospira platensis*) presentan mejores parámetros agronómicos, fisiológicos, nutricionales y de rendimiento que las plantas de *Lactuca sativa* tratadas con biol.

## ***Hipótesis nula***

Las plantas de *Lactuca sativa* tratadas con biol, algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) y espirulina (*Arthrospira platensis*) presentan similares parámetros agronómicos, fisiológicos, nutricionales y de rendimiento .

# Revisión de Literatura

## LECHUGA (*L. sativa*)



Hortaliza de consumo mundial,  
**26´866.557 t** anuales.

4to vegetal de mayor consumo mundial

Sudamérica produce el 49% de la  
demanda mundial.

Rica en fibra , agua y vitaminas

**Fuente:**(FAO,2019)



**1145 ha** destinadas a este cultivo

Rendimiento promedio **17.93 kg\* ha**

70 % de la producción total **lechuga “iceberg”**

Ciclo de cultivo 60-90 días

Requiere de 12 hl uz \* día ,T= 12-18°C

**Fuente:** (MAG,2017)

## Producción Orgánica grupo Alpañan Fajardo

Productores locales (Fajardo-Rumiñahui), cultivan hortalizas orgánicas traspatio.

Comercialización de productos en bio-ferias.

Asistencia agrícola por **MISIÓN SOCIAL RUMIÑAHUI**, eje productivo.

Implementación de tecnologías orgánicas de producción (caso de estudio).



## Espirulina (*A. platensis*)

Cianobacteria **verde-azul**, con. aprox. 60-70% de proteína.

Rica en : N-P-K, micro's, AA's, ácidos grasos, antioxidantes y vitaminas (CB).

AA's → precursores de crecimiento (AIA,GIB etc.)(Guzmán,2021)

## Algas marinas (*A. nodosum*)

Extracción por secado

Contiene y aporta: azúcares complejos, betaínas, manitol, alginatos, fucanos y polifenoles.

Mejoradores de suelo.(INTAGRI,2021)

## Biol

Fracción líquida de la degradación de sus componentes.

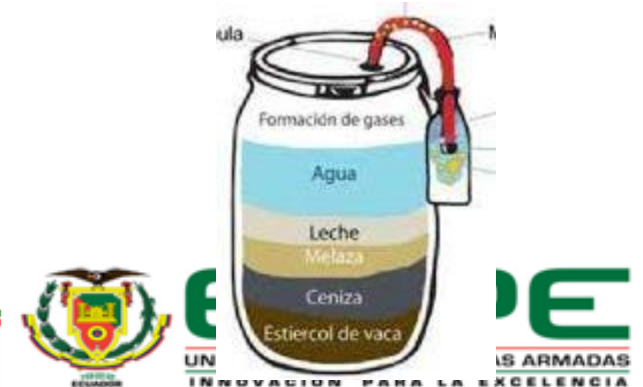
Enriquecido con sales minerales permitido por (Agrocalidad,2020)

### EFFECTOS EN LAS PLANTAS

|  |
|--|
| Fortalece mecanismos de defensa.                   |
| Reduce <b>periodos vegetativos</b> .               |
| Genera <b>resistencia</b> estrés biótico/abiótico. |
| Induce enraizamiento y germinación                 |
| Sinergia para la disponibilidad de nutrientes      |

|   |
|---|
| Incentivan la producción de hormonas                  |
| Absorción y traslocación de nutrientes                |
| Promueve el crecimiento y rendimiento.                |
| Retrasa la senescencia, promueve <b>resistencia</b> . |

|  |
|--|
| Aporta sales minerales así como macro y micronutrientes. |
| Mejora la actividad fisiológica.                         |
| Estimula el desarrollo vegetal                           |
| Aumenta el número de raíces                              |



# Metodología de Investigación

La Investigación se realizó en dos fases:

1.- Producción de Espirulina en el Laboratorio de Acuicultura.



Fuente: (Google Maps, 2022)

2. El cultivo se realizó en 12 predios de la parroquia de Fajardo – Rumiñahui. De la misma manera elaboración del biol, fue en la misma localización.



Fuente: (Google Maps, 2022)







# Elaboración de Biofertilizantes

## Espirulina (*A. platensis*)



- Producción y masificación de espirulina
- Obtención de medio líquido
- $A(1.9) = 9.4 \times 10^5$  filamentos \* mL



- Liberación de compuestos mediante lisis celular física.
- Congelamiento → agitación por vortex 15'

## Sumacrop (*A. nodosum*)



- Adquisición del producto



- Dilución en agua natural de acuerdo a la dosificación asignada en el empaque.

## Biol



Incorporación de estiércol vacuno  
Adición de plantas medicinales y leguminosas



Adición de :  
Zn(SO<sub>4</sub>)  
H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>  
Mg(SO<sub>4</sub>)  
Cu(SO<sub>4</sub>)  
Fe(SO<sub>4</sub>)  
Cal y roca fosfórica



- Mezcla con leche, levadura, melaza y sellar el biodigestor para su fermentación



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Adecuación de camas y Dosificación



- Camas de 4m x 1m
- Enmiendas realizadas por igual
- Labores culturales uniformes



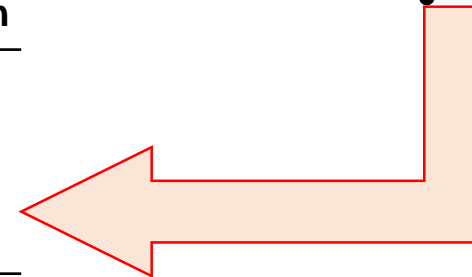
- Marco de plantación 0.4 x 0.4
- 12 plantas/ m<sup>2</sup>
- 50 plantas / unidad experimental



Aplicaciones:

- Plántula (de 10 días)
- 15 días después del trasplante
- 30 días después del trasplante
- 45 días después del trasplante

| Tratamiento | Descripción                | Concentración        | Dosificación |
|-------------|----------------------------|----------------------|--------------|
| T0          | Biol                       | 1 L / 20 L de agua   | 2 L / cama   |
| T1          | Sumacrop®                  | 100 g / 20 L de agua | 2 L / cama   |
| T2          | Fertilizante de Espirulina | 5 L / 20 L de agua   | 2 L / cama   |



# Evaluaciones de Campo

## Variables Agronómicas

Peso fresco

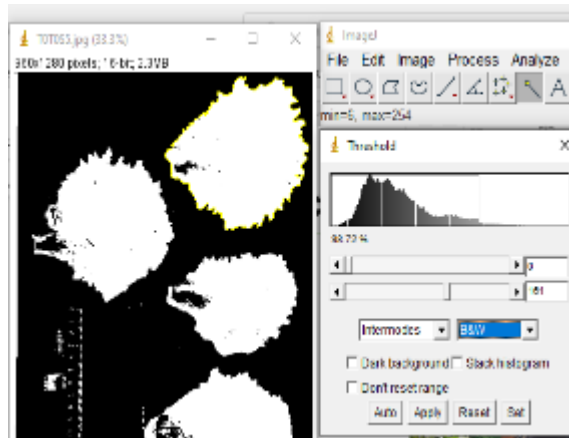


Muestras limpias y libres de agentes externos

Área Foliar



Fotografía con fondo blanco



Calibración en el software  
Image J

Longitud radicular



Diámetro de cabeza



- Mediciones semanales durante el ciclo del cultivo

Peso seco



Secado en estufa a 70°C por 3 días

# Parámetros productivos

## Rendimiento



## Mortalidad



$$= \frac{\text{No. plántulas muertas}}{\text{No. Total de plántulas}} * 100$$

## Clasificación por calibres



| Peso/ unidad (gr) | Calibre |
|-------------------|---------|
| 550-600           | 9       |
| 500-550           | 10      |
| 400-500           | 12      |
| 300-400           | 14      |

# Evaluaciones de Laboratorio

## Variables Fisiológicas

### Clorofila



- Dilución con acetona
- Refrigeración
- Centrifugación
- Espectrofotometría (636 y 643) nm

### Niveles de Nitratos



- Maceración
- Obtención de extracto líquido
- Análisis con cintas **Quantofix**

## Variables Nutricionales

### Sólidos solubles



- Maceración
- Obtención de extracto líquido



- Refractometría digital (° brix)

### Análisis bromatológico

Grasa



Ceniza



Fibra



Proteína



Expresados en %, de acuerdo al método gravimétrico

# Resultados y Discusión

## Variables Agronómicas

### Peso Fresco y peso seco

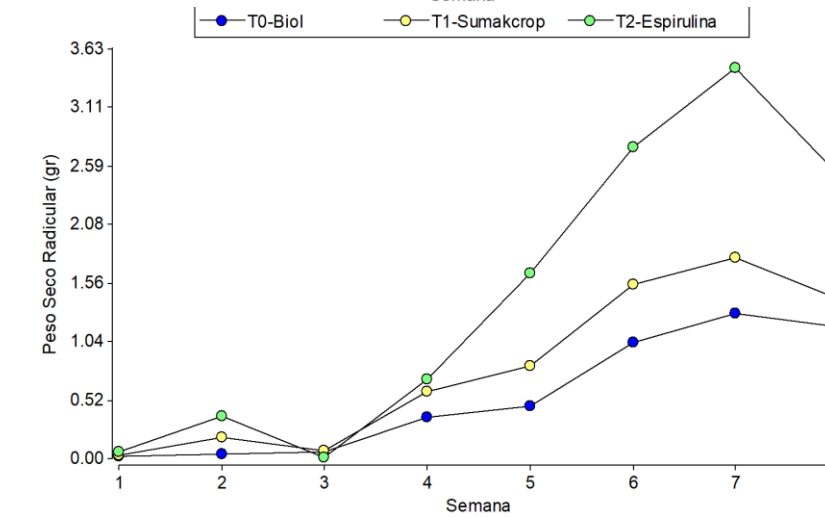
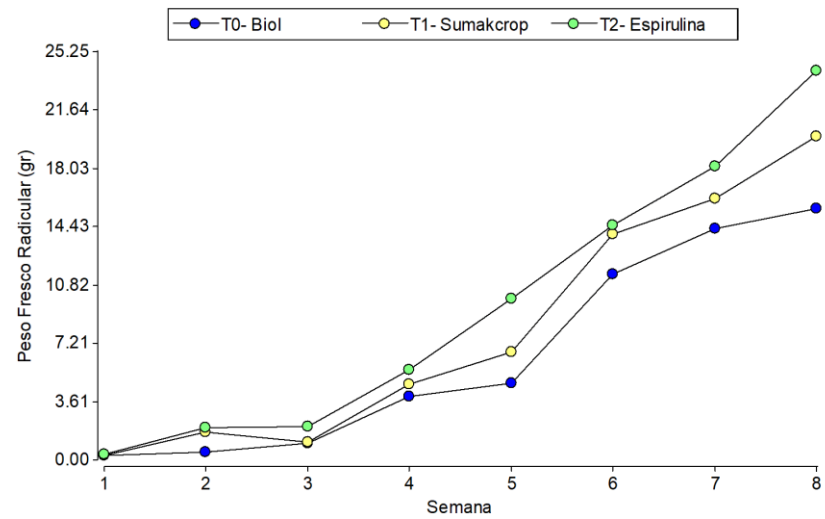
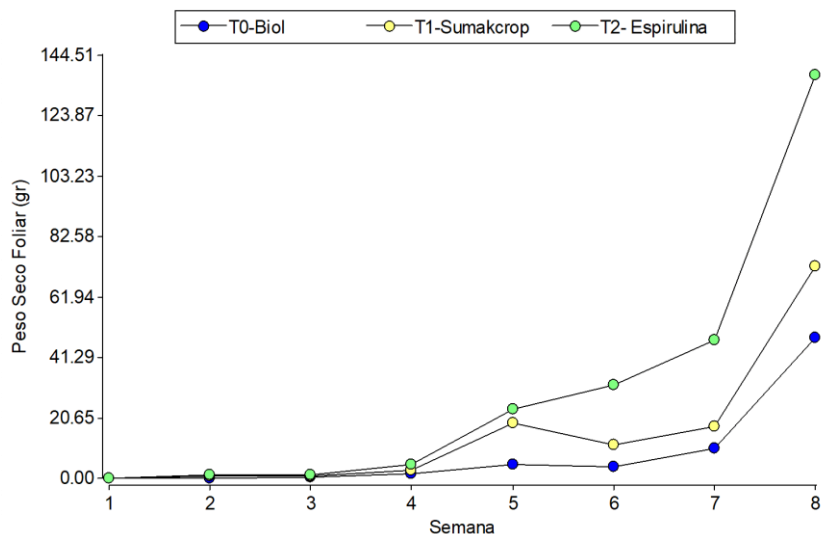
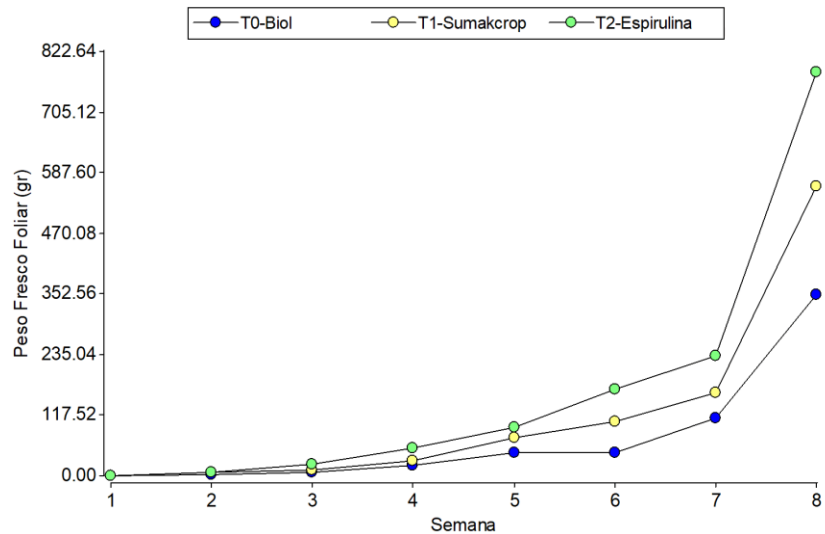
Media  $\pm$  Desviación Estándar, F y p-valor del Peso de Materia Fresca y Seca de la Zona Foliar y Radicular.

| Semana | Tto | Peso Fresco Foliar (gr)         | F         | Peso Seco Foliar (gr)          | F         | Peso Fresco Radicular (gr)     | F        | Peso Seco Radicular (gr)        | F          |
|--------|-----|---------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|----------|---------------------------------|------------|
| 1      | T0  | 0.64 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>    |           | 0.06 $\pm$ 0.0023 <sup>c</sup> |           | 0.26 $\pm$ 0.0047 <sup>c</sup> |          | 0.02 $\pm$ 0.00005 <sup>c</sup> |            |
|        | T1  | 0.72 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>    | 241.21*   | 0.08 $\pm$ 0.0014 <sup>b</sup> | 4242.87*  | 0.28 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>   | 343.84*  | 0.03 $\pm$ 0.00075 <sup>b</sup> | 4826.67*   |
|        | T2  | 0.75 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>    |           | 0.14 $\pm$ 0.0045 <sup>a</sup> |           | 0.32 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>   |          | 0.06 $\pm$ 0.0022 <sup>a</sup>  |            |
| 2      | T0  | 1.13 $\pm$ 0.16 <sup>c</sup>    |           | 0.10 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>   |           | 0.47 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>   |          | 0.04 $\pm$ 0.0046 <sup>c</sup>  |            |
|        | T1  | 6.84 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>    | 4527.68*  | 0.75 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>   | 4165.8*   | 1.69 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>   | 3636.4*  | 0.19 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>    | 6076.77*   |
|        | T2  | 6.54 $\pm$ 0.43 <sup>a</sup>    |           | 1.24 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>   |           | 1.98 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>   |          | 0.38 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>    |            |
| 3      | T0  | 7.66 $\pm$ 1.25 <sup>c</sup>    |           | 0.51 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>   |           | 1.05 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   |          | 0.06 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>    |            |
|        | T1  | 10.75 $\pm$ 1.32 <sup>b</sup>   | 924.58**  | 0.66 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>   | 1764.96** | 1.13 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>   | 316.73** | 0.07 $\pm$ 0.0048 <sup>a</sup>  | 293.27**   |
|        | T2  | 21.60 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>   |           | 1.15 $\pm$ 0.0035 <sup>a</sup> |           | 2.04 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>   |          | 0.01 $\pm$ 0.00089 <sup>c</sup> |            |
| 4      | T0  | 19.32 $\pm$ 0.86 <sup>c</sup>   |           | 1.70 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>   |           | 3.95 $\pm$ 1.04 <sup>b</sup>   |          | 0.37 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>    |            |
|        | T1  | 28.15 $\pm$ 4.16 <sup>b</sup>   | 391.95**  | 2.68 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>   | 9876.83*  | 4.66 $\pm$ 1.09 <sup>ab</sup>  | 12.21*   | 0.59 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>    | 221.63*    |
|        | T2  | 54.56 $\pm$ 5.94 <sup>a</sup>   |           | 4.58 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>   |           | 5.57 $\pm$ 1.48 <sup>a</sup>   |          | 0.70 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>    |            |
| 5      | T0  | 45.61 $\pm$ 0.54 <sup>c</sup>   |           | 4.84 $\pm$ 0.36 <sup>c</sup>   |           | 4.72 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>   |          | 0.47 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>    |            |
|        | T1  | 73.54 $\pm$ 6.78 <sup>b</sup>   | 203.73*   | 18.86 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>  | 55788.66* | 6.65 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>   | 2247.73* | 0.82 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>    | 103.08*    |
|        | T2  | 92.88 $\pm$ 15.21 <sup>a</sup>  |           | 23.56 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>  |           | 9.98 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>   |          | 1.64 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>    |            |
| 6      | T0  | 45.80 $\pm$ 0.60 <sup>c</sup>   |           | 4.12 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>   |           | 11.49 $\pm$ 0.55 <sup>c</sup>  |          | 1.03 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>    |            |
|        | T1  | 105.10 $\pm$ 6.38 <sup>b</sup>  | 26958.53* | 11.49 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>  | 3391.11** | 13.98 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>  | 243.97*  | 1.54 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>    | 1755.27*   |
|        | T2  | 168.23 $\pm$ 9.02 <sup>a</sup>  |           | 31.93 $\pm$ 1.82 <sup>a</sup>  |           | 14.51 $\pm$ 0.77 <sup>a</sup>  |          | 2.76 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>    |            |
| 7      | T0  | 112.70 $\pm$ 6.92 <sup>c</sup>  |           | 10.14 $\pm$ 0.62 <sup>c</sup>  |           | 14.33 $\pm$ 0.72 <sup>c</sup>  |          | 1.29 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>    |            |
|        | T1  | 161.10 $\pm$ 6.47 <sup>b</sup>  | 338.20*   | 17.72 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>  | 932.58**  | 16.19 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>  | 270.97*  | 1.78 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>    | 2935.10**  |
|        | T2  | 231.51 $\pm$ 21.4 <sup>a</sup>  |           | 47.18 $\pm$ 5.20 <sup>a</sup>  |           | 18.19 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>  |          | 3.46 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>    |            |
| 8      | T0  | 351.83 $\pm$ 6.39 <sup>c</sup>  |           | 48.12 $\pm$ 1.77 <sup>c</sup>  |           | 15.57 $\pm$ 0.81 <sup>c</sup>  |          | 1.17 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>    |            |
|        | T1  | 560.96 $\pm$ 64.79 <sup>b</sup> | 935.37*   | 72.32 $\pm$ 4.20 <sup>b</sup>  | 5702.03*  | 20.02 $\pm$ 1.88 <sup>b</sup>  | 162.57*  | 1.42 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>    | 77212.30** |
|        | T2  | 783.50 $\pm$ 12.27 <sup>a</sup> |           | 137.64 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup> |           | 24.06 $\pm$ 2.47 <sup>a</sup>  |          | 2.51 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>    |            |

T2 presenta mayores valores lo largo del ciclo del cultivo el tratamiento con mayor peso fresco y seco tanto de la zona foliar como radicular desde la semana 1-8 del ciclo del cultivo

De acuerdo a la prueba de contrastes ortogonales C1 es el de mayor significancia a lo largo del estudio para esta variable

Siendo T1 y T2 superiores a T0



El %MS representa el 19% del total en T2  
 11% del total en T1  
 10% del total en T0

El %MS se puede traducir en un mayor contenido de solidos u otros elementos →

Sánchez(2010) obtiene %MS 6.49 con fertilización química < a T0



## Longitud de raíz

Media  $\pm$  Desviación Estándar, F y p-valor de la Longitud de Raíz

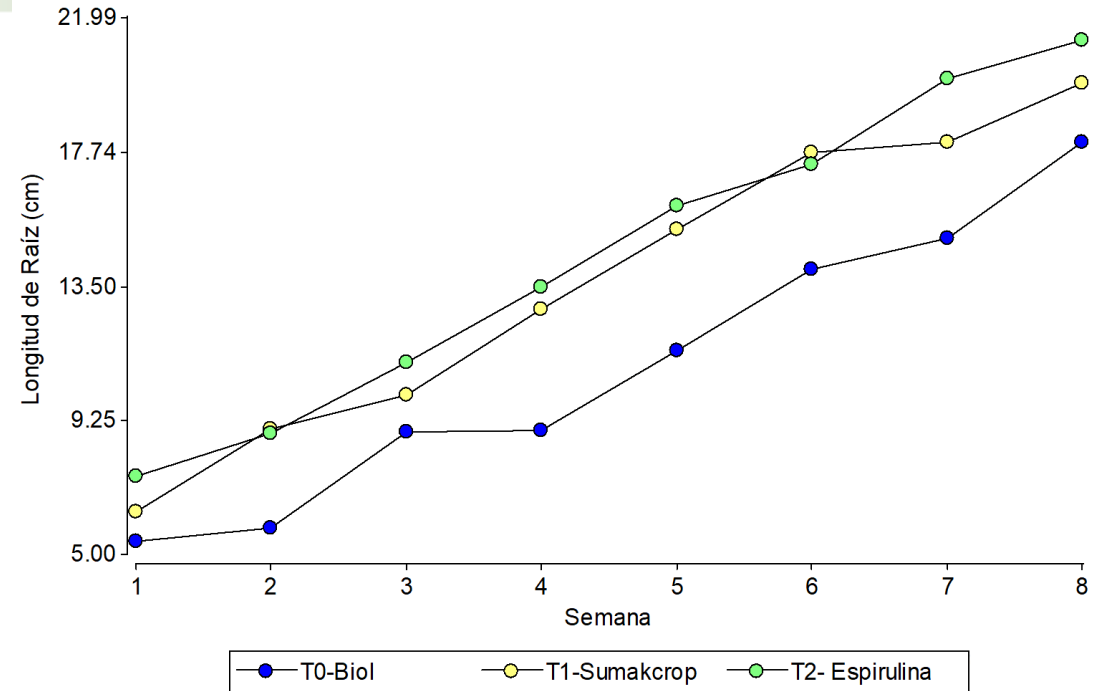
| Semana | Tratamiento | Longitud de Raíz (cm) | F       | p-valor |
|--------|-------------|-----------------------|---------|---------|
| 1      | T0          | 5.44 $\pm$ 0.10 c     | 80.29*  | <0.0001 |
|        | T1          | 6.34 $\pm$ 0.59 b     |         |         |
|        | T2          | 7.46 $\pm$ 0.84 a     |         |         |
| 2      | T0          | 5.82 $\pm$ 0.18 b     | 484.81* | <0.0001 |
|        | T1          | 8.98 $\pm$ 0.72 a     |         |         |
|        | T2          | 8.82 $\pm$ 0.46 a     |         |         |
| 3      | T0          | 8.89 $\pm$ 0.43 c     | 113.90* | <0.0001 |
|        | T1          | 10.05 $\pm$ 0.48 b    |         |         |
|        | T2          | 11.08 $\pm$ 0.73 a    |         |         |
| 4      | T0          | 8.91 $\pm$ 0.58 c     | 623.61* | <0.0001 |
|        | T1          | 12.75 $\pm$ 0.49 b    |         |         |
|        | T2          | 13.49 $\pm$ 0.75 a    |         |         |
| 5      | T0          | 11.47 $\pm$ 1.11 b    | 108.59* | <0.0001 |
|        | T1          | 15.30 $\pm$ 1.74 a    |         |         |
|        | T2          | 16.06 $\pm$ 1.50 a    |         |         |
| 6      | T0          | 14.04 $\pm$ 0.83 b    | 174.87* | <0.0001 |
|        | T1          | 17.74 $\pm$ 0.47 a    |         |         |
|        | T2          | 17.36 $\pm$ 1.39 a    |         |         |
| 7      | T0          | 15.04 $\pm$ 1.14 c    | 431.00* | <0.0001 |
|        | T1          | 18.08 $\pm$ 0.41 b    |         |         |
|        | T2          | 20.08 $\pm$ 0.22 a    |         |         |
| 8      | T0          | 18.04 $\pm$ 0.38 c    | 671.80* | <0.0001 |
|        | T1          | 19.91 $\pm$ 0.38 b    |         |         |
|        | T2          | 21.30 $\pm$ 0.33 a    |         |         |

\* Contraste ortogonal 1 (C1) con mayor significancia en el análisis

Semana 2 y 6  
T1 obtiene mejores resultados.  
Semanas 1,3,4,5,7 y 8 T2

Semana 2 y 6 (granizó)  
**Sumakcrop** genera resistencia **estrés abiótico**

**C1** contraste con mayor significancia en el cultivo



Shedeed & Gheda (2022) obtuvieron (8.00  $\pm$  0.23 cm) en *Lupinus luteus* fertilizado con ***A. platensis***

Morsy (2019) obtuvo la mayor longitud en *Colinabo* fertilizado con ***A. platensis***

Nihdi & Krishnan (2021) obtuvieron (15.30  $\pm$  1.74 cm) en *Vigna aconitifolia* fertilizado con ***A. nodosum***

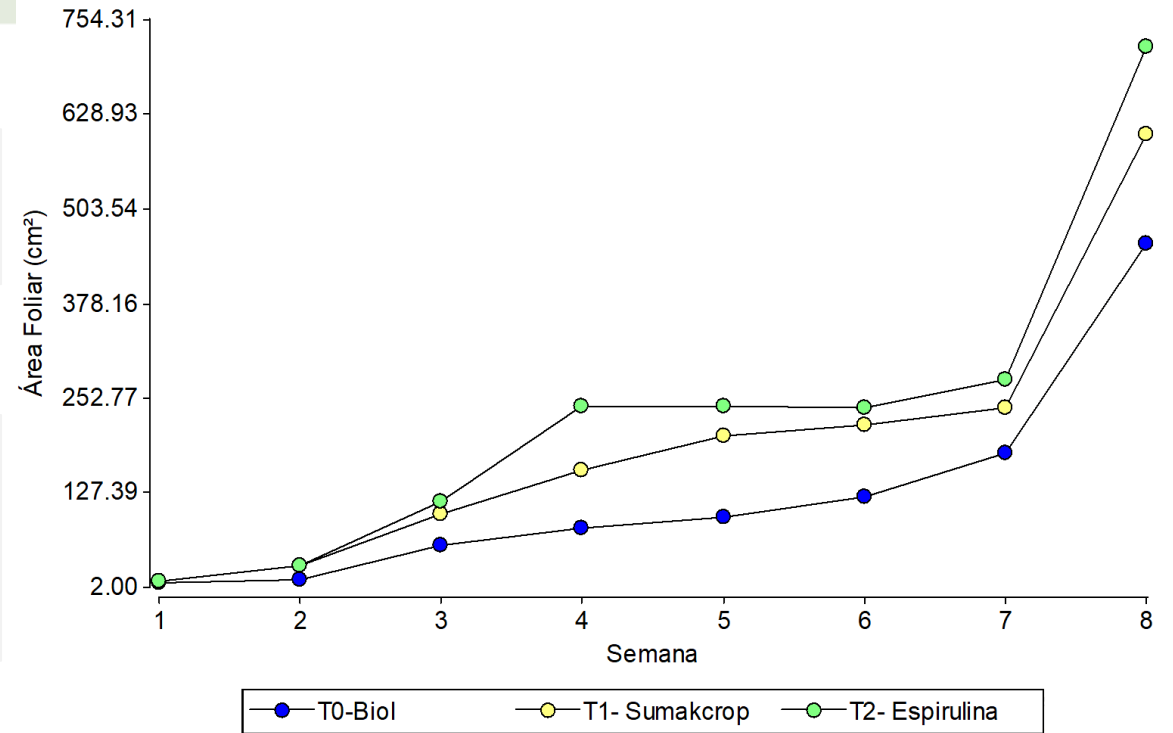
# Área Foliar

Media ± Desviación Estándar, F y p-valor del Área Foliar

| Semana | Tratamiento | Área Foliar (cm <sup>2</sup> ) | F         | p-valor |
|--------|-------------|--------------------------------|-----------|---------|
| 1      | T0          | 7.19 ± 0.30 c                  | 1362.69*  | <0.0001 |
|        | T1          | 9.61 ± 0.13 b                  |           |         |
|        | T2          | 11.03 ± 0.43 a                 |           |         |
| 2      | T0          | 12.02 ± 2.02 c                 | 990.17*   | <0.0001 |
|        | T1          | 31.19 ± 2.85 b                 |           |         |
|        | T2          | 31.34 ± 1.66 a                 |           |         |
| 3      | T0          | 58.58 ± 1.79 c                 | 19889.27* | <0.0001 |
|        | T1          | 99.66 ± 1.00 b                 |           |         |
|        | T2          | 116.69 ± 0.86 a                |           |         |
| 4      | T0          | 80.46 ± 0.65 c                 | 35701.66* | <0.0001 |
|        | T1          | 158.37 ± 3.74 b                |           |         |
|        | T2          | 242.12 ± 1.29 a                |           |         |
| 5      | T0          | 94.71 ± 7.26 c                 | 2183.75*  | <0.0001 |
|        | T1          | 202.60 ± 0.90 b                |           |         |
|        | T2          | 242.93 ± 15.71 a               |           |         |
| 6      | T0          | 121.55 ± 2.52 c                | 20511.37* | <0.0001 |
|        | T1          | 216.51 ± 2.08 b                |           |         |
|        | T2          | 239.87 ± 3.39 a                |           |         |
| 7      | T0          | 180.02 ± 4.23 c                | 3481.12*  | <0.0001 |
|        | T1          | 239.64 ± 4.48 b                |           |         |
|        | T2          | 278.07 ± 5.78 a                |           |         |
| 8      | T0          | 458.53 ± 8.36 c                | 121.48*   | <0.0001 |
|        | T1          | 603.05 ± 3.94 b                |           |         |
|        | T2          | 718.92 ± 7.01 a                |           |         |

T2 valores significativos semana 1-8

C1 contraste con mayor significancia → T1 y T2 superiores



Siringi & Turoop (2022) reportaron (716.57 ± 4.76) cm<sup>2</sup> en *L. sativa acuapónica* fertilizada con **A. platensis**

Chrysangyris et al. (2018) reportaron (595 ± 10.41) cm<sup>2</sup> en *L. sativa* fertilizada con **A. nodosum**

\* Contraste ortogonal 1 (C1) con mayor significancia en el análisis

## Diámetro de Cabeza

Media  $\pm$  Desviación Estándar, F y p-valor del Diámetro de Cabeza

| Semana | Tratamiento | Diámetro de cabeza (cm) | F         | p-valor |
|--------|-------------|-------------------------|-----------|---------|
| 6      | T0          | 0.00 $\pm$ 0.00 b       | 3995.83** | <0.0001 |
|        | T1          | 0.00 $\pm$ 0.00 b       |           |         |
|        | T2          | 5.45 $\pm$ 0.47 a       |           |         |
| 7      | T0          | 7.44 $\pm$ 0.95 b       | 624.89**  | <0.001  |
|        | T1          | 7.17 $\pm$ 1.16 b       |           |         |
|        | T2          | 17.93 $\pm$ 1.82 a      |           |         |
| 8      | T0          | 19.40 $\pm$ 0.52 c      | 463.30*   | <0.001  |
|        | T1          | 26.38 $\pm$ 1.74 b      |           |         |
|        | T2          | 32.32 $\pm$ 2.29 a      |           |         |

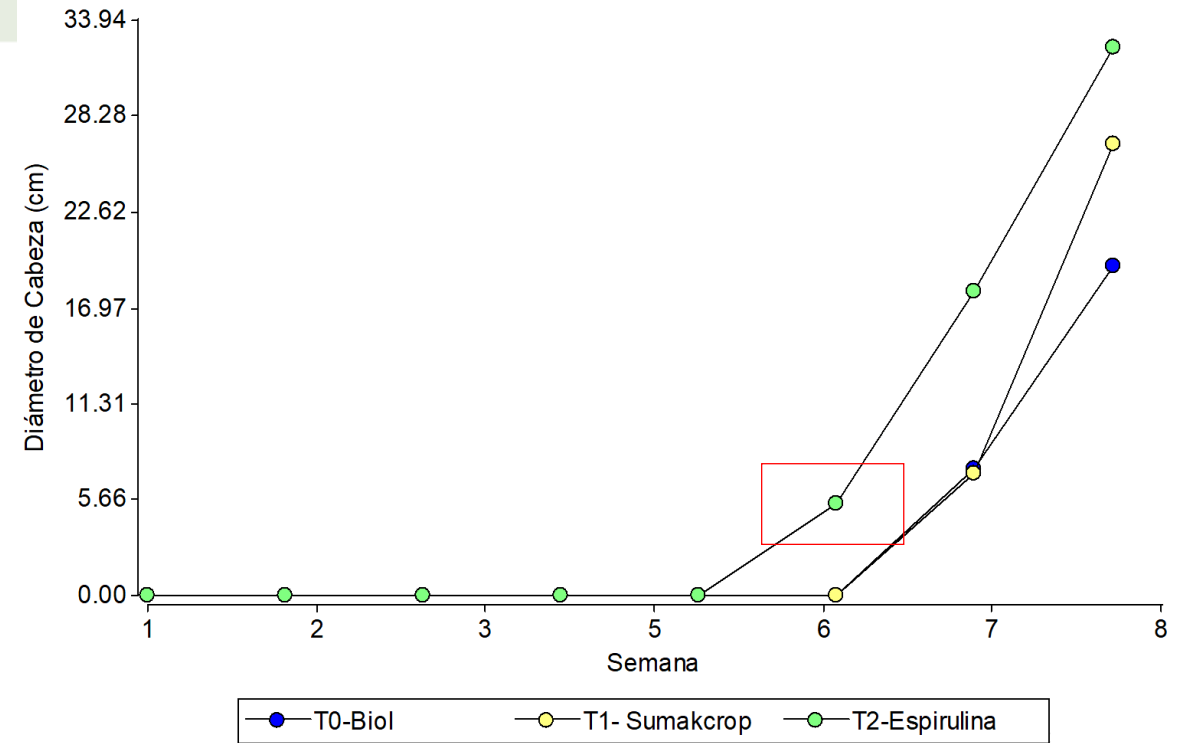
\* Contraste ortogonal 1 (C1) con mayor significancia en el análisis

\*\* Contraste ortogonal 2 (C2) con mayor significancia en el análisis

T2 inicia fase de producción 1 semana antes

Semana 6 y 7, C2 mayor significancia. Semana 8 C1

T2 obtiene mejores resultados



Velázquez & Ruiz (2014) reportaron (17.07- 20.33) cm Ø en *L. sativa* acuapónica fertilizada con compost (T0)

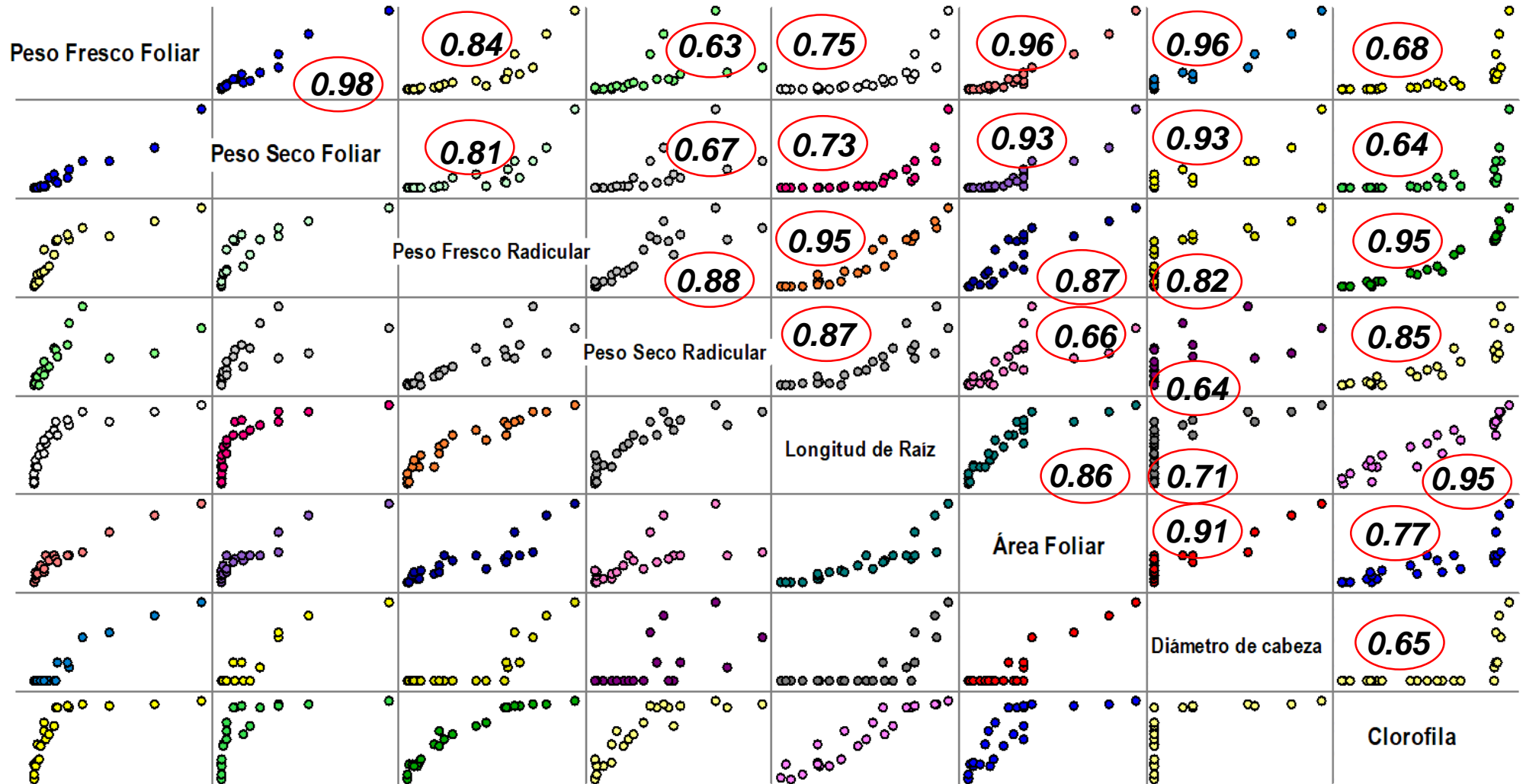
Morsy (2019) obtuvieron (10.17) cm Ø en *Colinabo* fertilizado con *A. platensis*

Varia et al.(2022) cosechó *L. sativa* hidropónica fertilizado con *A. platensis* 1 semana previa (22días) a plantas no tratadas (29 días).

## Matriz de Correlación entre variables

Uniformidad y alta tendencia a la correlación positiva, demostrando que a mayor desarrollo de vegetativo existe mejor eficiencia fisiológica → mejor desempeño

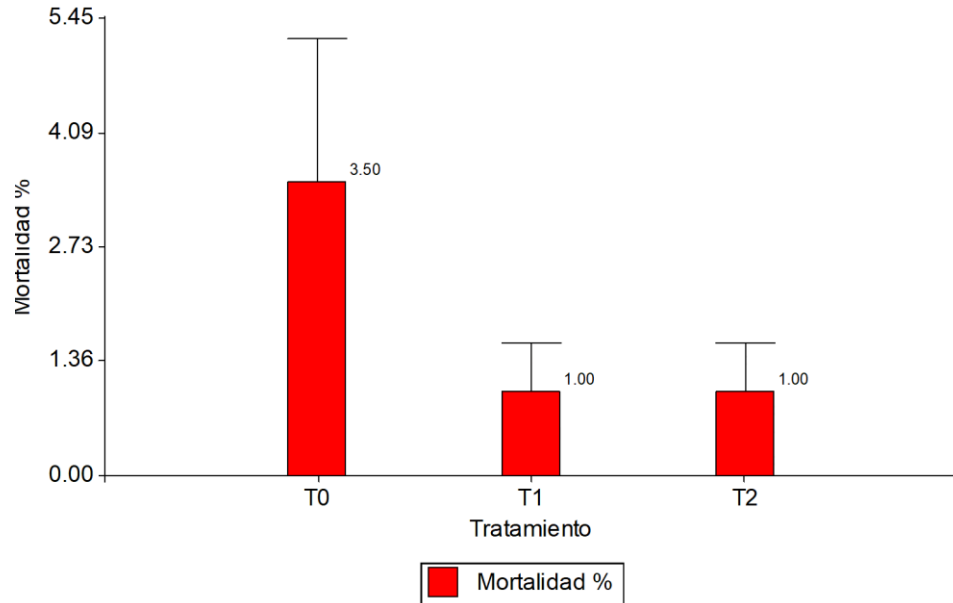
Valores cercanos a 1.0 indican mayor correlación entre variables



# Variables Fisiológicas

## Mortalidad

Media  $\pm$  Desviación Estándar del Porcentaje de Mortalidad



- No existieron diferencias significativas
- Mortalidad baja
- Causas por factores externos como presencia de animales domésticos en los predios

## Niveles de Nitratos

Media  $\pm$  Desviación Estándar, de Niveles de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

| Tratamiento | $\text{NO}_3^-$ (mg/L) |
|-------------|------------------------|
| T0          | $81.25 \pm 12.50$ b    |
| T1          | $212.50 \pm 75.00$ ab  |
| T2          | $375.00 \pm 54.34$ a   |

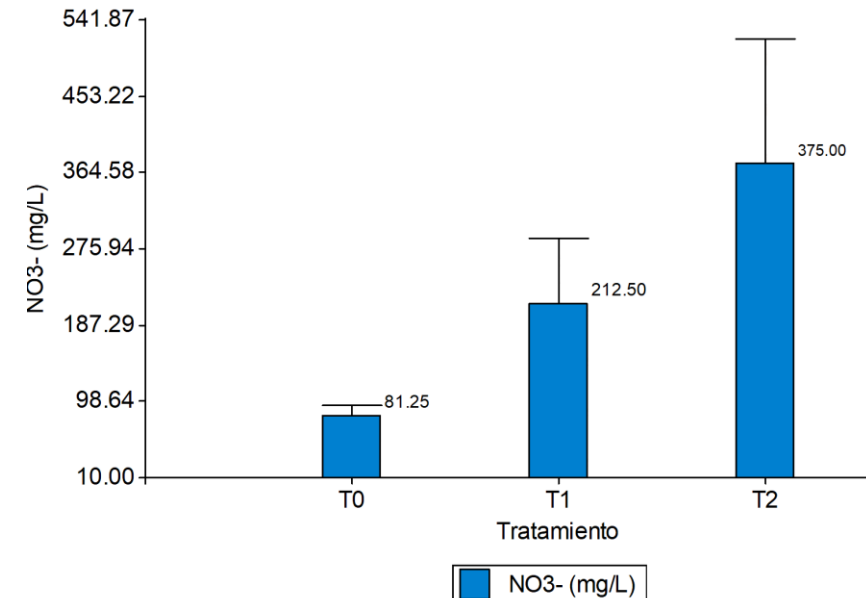
T2 difiere únicamente de T0. C1 fue el más representativo en esta prueba.

Ingesta humana  $3.65$  mg/kg peso persona  $65$ kg no más de  $237.25$  mg de  $\text{NO}_3^-$

Morsy (2019) obtuvo  $473.85$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$  en *Colinabo* fertilizado con *A. platensis*

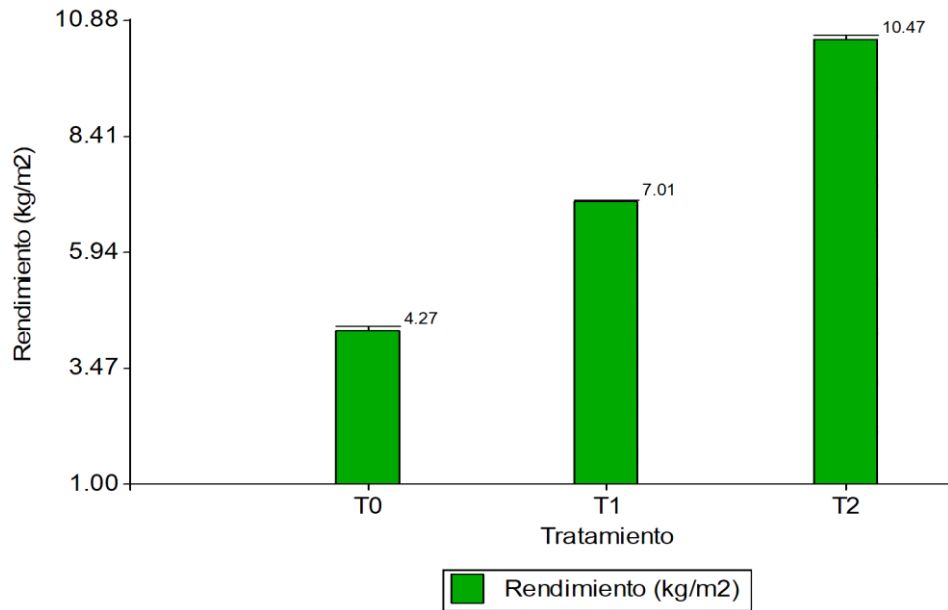
Sánchez et al. (2012) obtuvieron  $2.9\%$  de  $\text{NO}_3^-$  en *L. sativa* fertilizada con urea. T0 representa el  $0.81\%$

Nitratos se obtienen por fertilización nitrogenada  $\rightarrow$  T0 carece de una.



# Parámetros Productivos

## Rendimiento

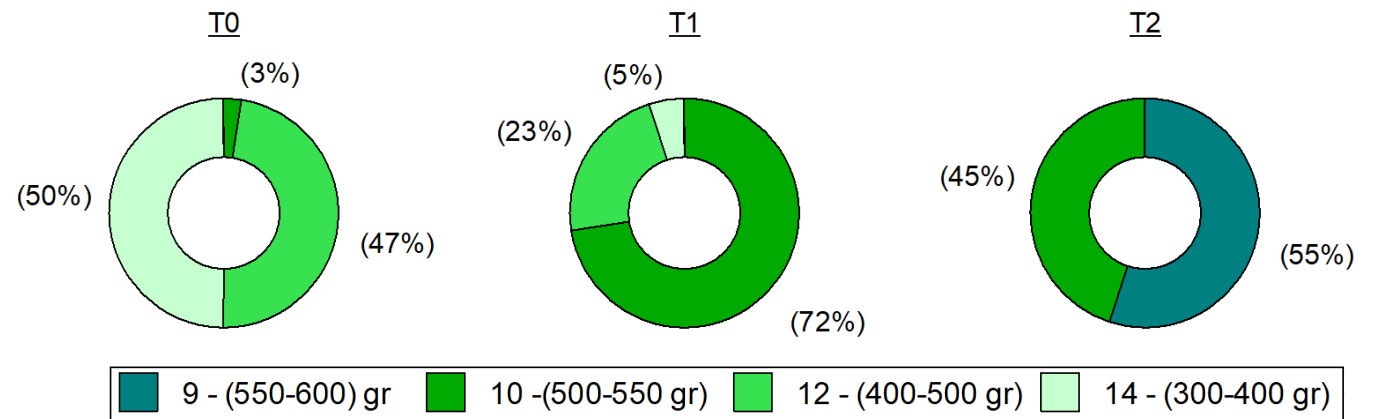


T2 obtuvo 10.48 kg\* m<sup>2</sup>.

Varia, Kamaleson, & Lerer (2022) tuvieron lechugas fertilizadas con *A. platensis* con pesos de (238 ± 19) g versus el control que alcanzó 212.0 ± 17 g en peso.

Morsy (2019) obtuvo productividad de 2.497 kg \* m<sup>2</sup> en comparación a fertilizaciones orgánicas con N

## Calibre



- **T0:** calibre 10 (3%), calibre 12 (47%) calibre 14 (50 %);
- **T1:** calibre 10 (72 %), calibre 12 (23%) y calibre 14 (5%).
- **T2:** calibre 9 (55%), calibre 10 (45%) evidenciándose que **T2 alcanza mejores calibres** al momento de la cosecha.

# Clorofila

Media  $\pm$  Desviación Estándar, F y p-valor de Clorofila

| Semana | Tratamiento | Clorofila (mg*g-1) | F         | p-valor |
|--------|-------------|--------------------|-----------|---------|
| 1      | T0          | 1.65 $\pm$ 0.02 b  | 177.36**  | <0.0001 |
|        | T1          | 1.60 $\pm$ 0.10 b  |           |         |
|        | T2          | 1.88 $\pm$ 0.05 a  |           |         |
| 2      | T0          | 2.64 $\pm$ 0.02 b  | 546.12**  | <0.0001 |
|        | T1          | 2.50 $\pm$ 0.06 c  |           |         |
|        | T2          | 2.85 $\pm$ 0.06 a  |           |         |
| 3      | T0          | 2.64 $\pm$ 0.03 b  | 179.73**  | <0.0001 |
|        | T1          | 2.57 $\pm$ 0.15 b  |           |         |
|        | T2          | 3.00 $\pm$ 0.09 a  |           |         |
| 4      | T0          | 4.23 $\pm$ 0.03 b  | 354.23**  | <0.0001 |
|        | T1          | 4.00 $\pm$ 0.09 c  |           |         |
|        | T2          | 4.60 $\pm$ 0.14 a  |           |         |
| 5      | T0          | 5.12 $\pm$ 0.08 c  | 198.75**  | <0.0001 |
|        | T1          | 4.93 $\pm$ 0.14 b  |           |         |
|        | T2          | 5.53 $\pm$ 0.18 a  |           |         |
| 6      | T0          | 5.75 $\pm$ 0.04 b  | 24134.08* | <0.0001 |
|        | T1          | 6.94 $\pm$ 0.01 a  |           |         |
|        | T2          | 6.96 $\pm$ 0.02 a  |           |         |
| 7      | T0          | 6.98 $\pm$ 0.02 c  | 1462.43*  | <0.0001 |
|        | T1          | 7.08 $\pm$ 0.02 b  |           |         |
|        | T2          | 7.19 $\pm$ 0.01 a  |           |         |
| 8      | T0          | 7.00 $\pm$ 0.01 c  | 1128.45*  | <0.0001 |
|        | T1          | 7.15 $\pm$ 0.04 b  |           |         |
|        | T2          | 7.48 $\pm$ 0.04 a  |           |         |

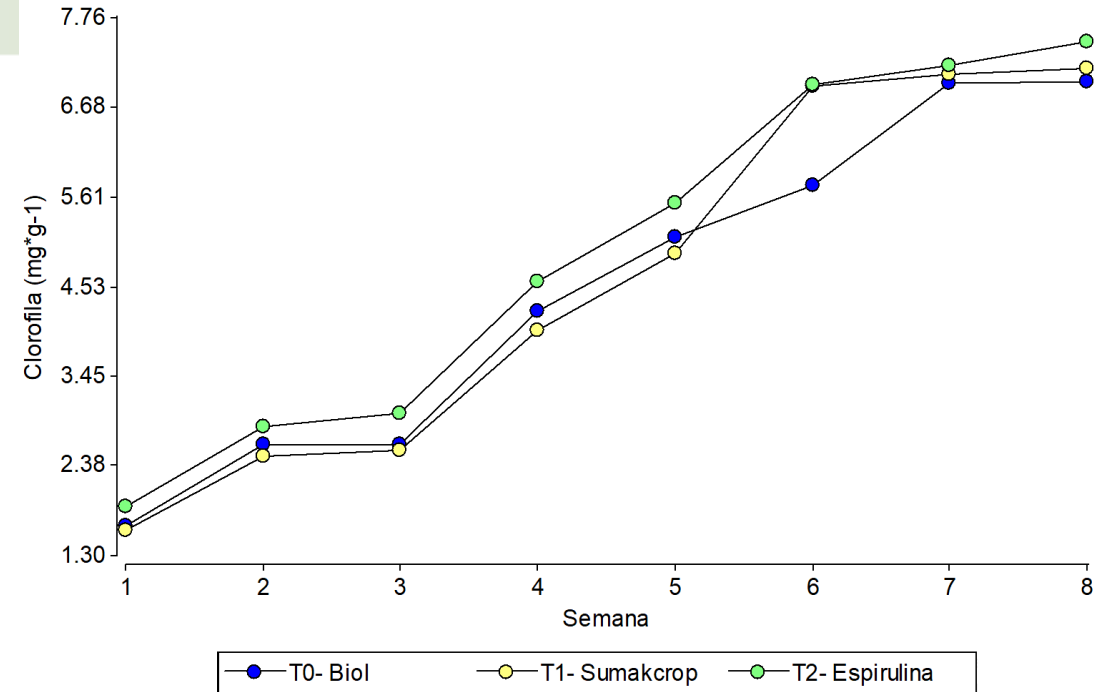
\* Contraste ortogonal 1 (C1) con mayor significancia en el análisis

\*\* Contraste ortogonal 2 (C2) con mayor significancia en el análisis

T2 valores mayores semana 1-8

Semana 1-5, C2 contraste con mayor significancia  $\rightarrow$  semana 6-8 C1

Semana 1-5 T2 tuvo mejor efecto



Shedeed & Gheda (2022) reportaron (1.33  $\pm$  0.021) mg\*g a los 30 días en *L. luteus* fertilizada con ***A. platensis***

Faiz (2019) obtuvo 53.9 % clorofila en *Okra* fertilizada con ***A. platensis*** vs 42.4 % del testigo

# Variables Nutricionales

## Sólidos solubles

Media  $\pm$  D.E para sólidos solubles ( $^{\circ}$  Brix)

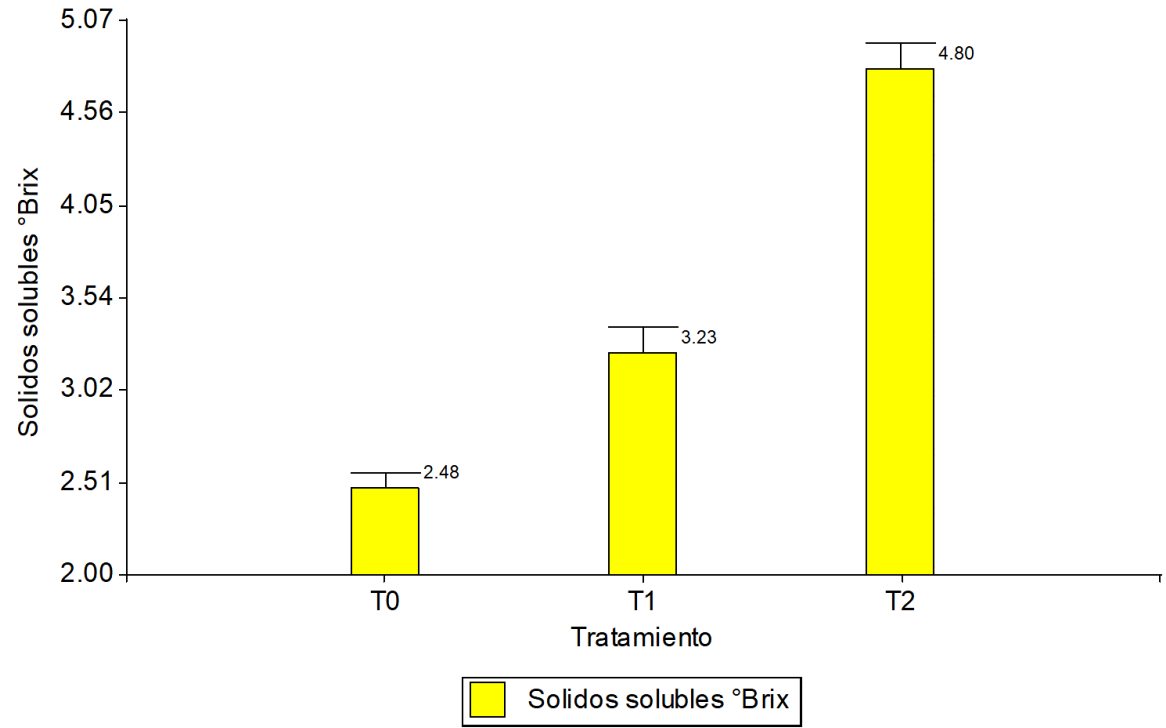
| Tratamiento | sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) |
|-------------|-------------------------------------|
| T0          | 2.48 $\pm$ 0.10 c                   |
| T1          | 3.23 $\pm$ 0.15 b                   |
| T2          | 4.80 $\pm$ 0.14 a                   |

**T2** obtiene el mayor nivel de sólidos solubles

**C1**, contraste con mayor significancia

Existen diferencias significativas entre los tratamientos

Dasgan & Isik (2020) afirmaron que las microalgas aumentan el contenido de sólidos solubles, pues obtuvieron 4.17  $^{\circ}$  brix en lechugas tratadas con *C. vulgaris*



**T1**, alcanza 3.23  $^{\circ}$ brix, siendo similar Hoang et al. (2022) quienes consiguieron **2.65  $^{\circ}$ brix** en lechugas fertilizadas con extractos (*A. nodosum*)

Oliveira et al.(2019) indicaron que plantas de *L. sativa* tratadas con Spirufert® alcanzan una concentración **4.16  $^{\circ}$  brix**



## Análisis Bromatológico

| Tto | M.O (%)      | F      | p-valor | Proteína (%) | F       | p-valor | Fibra (%)    | F       | p-valor | Grasa (%)    | F     | p-valor | Ceniza (%)   | F       | p-valor |
|-----|--------------|--------|---------|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|-------|---------|--------------|---------|---------|
| T0  | 11.47±0.55 a |        |         | 19.71±0.06 b |         |         | 76.22±0.42 a |         |         | 5.57±0.33 b  |       |         | 16.12±0.68 c |         |         |
| T1  | 9.61±0.43 b  | 83.50* | <0.0001 | 19.71±0.48 b | 44.90** | 0.0001  | 72.22±0.32 b | 352.93* | <0.0001 | 5.92±0.30 ab | 6.33* | 0.033   | 20.68±0.45 b | 382.72* | <0.0001 |
| T2  | 8.39±0.30 c  |        |         | 21.04±0.06 a |         |         | 67.15±0.83 c |         |         | 6.38±0.48 a  |       |         | 23.25±0.22 a |         |         |

\* Contraste ortogonal 1 (C1) con mayor significancia en el análisis

\*\* Contraste ortogonal 2 (C2) con mayor significancia en el análisis

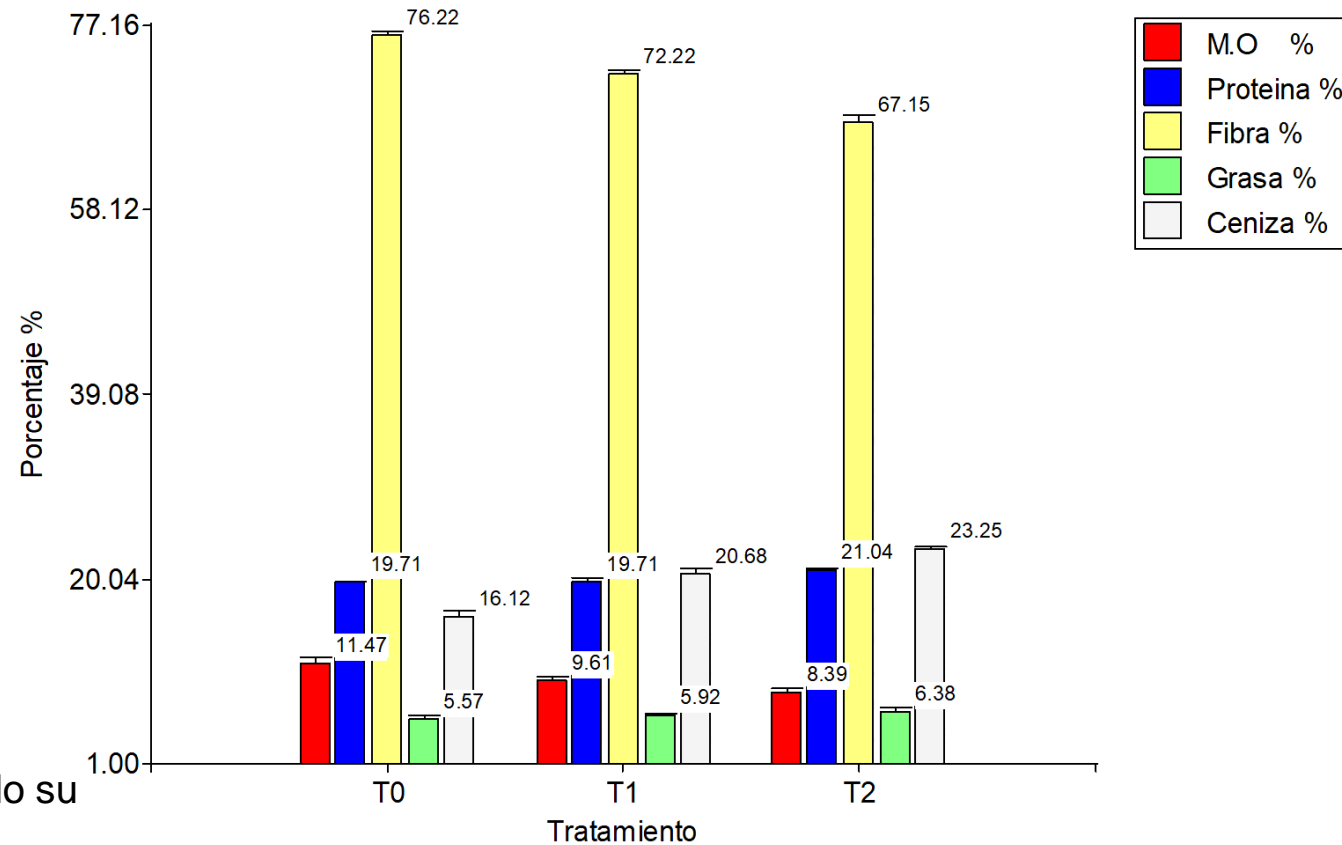
Existen diferencias significativas entre los tratamientos

Proteína, grasa y ceniza; **T2** obtuvo mayores valores

M.O y Fibra, **T0** alcanzó valores superiores

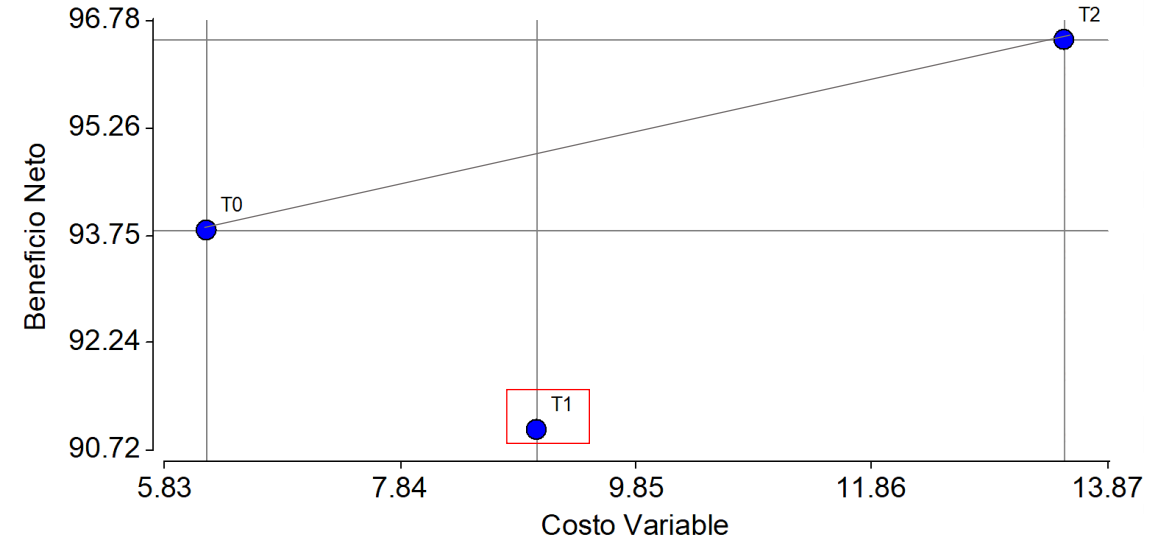
Proteína % → **C1 más significativo** por lo tanto espirulina superior a T1 y T0

Anitha, et al.(2015) , *Amatranthus gangeticus* fertilizado con espirulina consiguiendo un 13.3% en niveles de proteína siendo su mejor tratamiento.



## Análisis de presupuesto parcial

| Variable                               | Tratamientos |        |        |
|--|--------------|--------|--------|
|  | T0           | T1     | T2     |
| Rendimiento (unidades)                 | 200.00       | 200.00 | 200.00 |
| Rendimiento ajustado (unidades)        | 193.00       | 198.00 | 198.00 |
| Utilidad bruta (USD/ tratamiento)      | 100.00       | 100.00 | 110.00 |
| Costo biol (USD/tratamiento)           | 6.19         | -      | -      |
| Costo Sumakcrop (USD/ tratamiento)     | -            | 9.00   | -      |
| Costo espirulina (USD/tratamiento)     | -            | -      | 13.50  |
| Total costo variable (USD/tratamiento) | 6.19         | 9.00   | 13.50  |
| Beneficio neto (USD/ tratamiento)      | 93.81        | 91.00  | 96.50  |



T0 tratamiento más económico

T1 tratamiento con menor Beneficio Neto

T2 tuvo un **mayor** Beneficio Neto

En el caso de T2 el beneficio neto fue de (96.50 USD)

**T1** tratamiento dominado

Costos variables elevados con relación a los demás demás tratamientos

Proyección anual de ingresos para cada tratamiento

| Tratamiento | Ciclo (semanas) | Ventas (USD)/ ciclo | Número Ciclos anuales | Ingresos anuales | Porcentaje de cosecha (%) |          |          |
|-------------|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|----------|----------|
|             |                 |                     |                       |                  | Semana 6                  | Semana 7 | Semana 8 |
| T0          | 8+1*            | 100                 | 5.7                   | 570              | 0.0                       | 2.0      | 98.0     |
| T1          | 8+1*            | 100                 | 5.7                   | 570              | 0.0                       | 2.0      | 98.0     |
| T2          | 7+1*            | 110                 | 6.5                   | 715              | 90.0                      | 10.0     | 0.0      |

Indicador Costo/Beneficio

\* +1: se considera una semana adicional al ciclo para la preparación del terreno previo a un nuevo ciclo.

| Relación          | Tratamiento |      |      |
|-------------------|-------------|------|------|
|                   | T0          | T1   | T2   |
| Costo / beneficio | 5.41        | 7.36 | 3.10 |

**T2** mayor número de ciclos, por ende mayor ingresos

Mayor uniformidad de cosecha

**T2** mayores ingresos debido a la temporada de cosecha (para **Junio 2022**)



**C/B > 1:** valor de ingresos mayor al de los costos, por lo tanto la ejecución de un proyecto si es conveniente

C/B superior a 1.0

**T1** mayor C/B (considerando costos totales)

Todos los tratamientos fueron rentables

# Conclusiones

---

- Respecto a los parámetros agronómicos, T2 (Espirulina) obtuvo los mayores valores a lo largo del ciclo del cultivo, de igual manera T2 presentó mejor rendimiento y repollos de mejor calibre
- Espirulina (T2), tuvo **mejor respuesta fisiológica** en cuanto a contenido clorofílico, baja mortalidad y niveles de nitritos aceptables para **todos los tratamientos**. Además las plantas de T2 contienen mayor valor nutricional en función de mayores cantidades de grasa, proteína y azúcares, menor contenido de fibra y materia orgánica
- El tratamiento **más económico** fue T0 pero el tratamiento con mayor **beneficio neto** fue T2. Por otra parte el tratamiento con **mayor C/B** fue T1 pero a la vez **todos los tratamientos** fueron económicamente rentables

# Recomendaciones

- Se recomienda utilizar espirulina sobre otros cultivos, en especial, que produzcan frutos (*Lycopersicon esculentum*, *Cucumis sativus* etc.) para así evaluar la producción de la parte comestible.
- Fomentar el cultivo de microalgas con la finalidad de implementar nuevas tecnologías de Agricultura Orgánica.
- Difundir con productores agrícolas sobre los beneficios de *Arthrospira platensis* como biofertilizante de cultivos orgánicos, para su producción a mayor escala.
- Evaluar Sumakcrop en cultivos hortícolas y frutales, así como analizar diferentes dosis de aplicación.
- Utilizar los biofertilizantes tanto de espirulina como Sumakcrop en la evaluación de germinación de semillas forestales y cultivos hidropónicos.
- Hacer un análisis de absorción tanto de macro y micronutrientes en cultivos fertilizados con espirulina y Sumakcrop, con la finalidad de analizar la eficiencia de absorción de nutrientes.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Dra. Elizabeth Urbano PhD  
Dr. Patricio Pérez PhD  
Ing. Juan Tigrero  
Ing. Daysi Muñoz  
Ing. Jennifer Cuenca Msc.  
Ing. Patricia Rivadeneira



Ing. Mercedes Tamayo

Productores del grupo Alpañan Fajardo

# Agradecimientos



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA