

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“EXCLUSIÓN DE NUTRIENTES EN LA FASE VEGETATIVA  
DEL CULTIVO DE CHIA (*Salvia hispánica* L.), BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO”**

**Presentada por:**

**CLAUDIA ROSALINA ATIQUIPA LORIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Lima – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“EXCLUSIÓN DE NUTRIENTES EN LA FASE VEGETATIVA DEL  
CULTIVO DE CHIA (*Salvia hispánica* L.), BAJO CONDICIONES DE  
INVERNADERO”**

Presentada por:

**CLAUDIA ROSALINA ATIQUIPA LORIA**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobado ante el siguiente Jurado:

.....  
Dr. Félix Camarena Mayta  
**PRESIDENTE**

.....  
Dr. Guillermo Aguirre Yato  
**ASESOR**

.....  
Dr. Oscar Loli Figueroa  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Amelia Huaranga Joaquín  
**MIEMBRO**

**Lima – Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico con mucho amor a mi familia, quienes me han apoyado en todo momento y extraño mucho. Quiero nombrar a mis padres Juana Loria y Belisario Atiquipa; a mis queridos hermanitos Janet, Nicolás, Luis, Fanny, Elsa, Hector, Magali, Bertha, Wilfredo y Victoria; a mis queridos sobrinos Kenlly, Axl, Renato, Anderson, Samantha, Shammir, Edwin, Marcos, Keysi, Grecia, Miguelito, Roxanna y Claudia; y sobrinos nietos Thiago, Fabrizzio, Aziel.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por haberme dado la salud, las fuerzas y la paciencia para cumplir mis metas y continuar con mi preparación profesional.

Agradezco a mis padres y hermanos que siempre de alguna u otra manera me apoyaron en este camino y los consejos brindados.

Agradezco al Ing. Guillermo Aguirre Yato, por el esfuerzo, sus sabios consejos y tiempo dedicado para la elaboración de esta tesis; y a mis jurados, la Ing. Amelia Huaranga, Ing. Félix Camarena e Ing. Oscar Loli, por sus observaciones y aportaciones a este trabajo.

A todas las personas del Laboratorio de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía”, quienes hicieron posible la realización de esta investigación.

# INDICE

|  | <b>Pag.</b> |
|--|-------------|
| <b>I. INTRODUCCION</b>   | 1           |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>                              | 3           |
| 2.1 PRODUCCIÓN NACIONAL Y MUNDIAL                              | 3           |
| 2.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA                                    | 6           |
| 2.3 BENEFICIOS DE LA CHÍA ( <i>Salvia hispánica</i> L.)        | 7           |
| 2.4 ASPECTOS BOTÁNICOS, MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS<br>EN CHÍA | 8           |
| 2.4.1 Taxonomía  | 8           |
| 2.4.2 Morfología   | 8           |
| 2.4.3 Fisiología vegetal                                       | 12          |
| 2.5 ASPECTOS AGRONÓMICOS EN EL CULTIVO DE CHÍA                 | 14          |
| 2.5.1 Requerimientos edafoclimáticos                           | 15          |
| 2.5.2 Variedades, genotipos y cultivares de chía               | 16          |
| 2.5.3 Fenología  | 18          |
| 2.5.4 Siembra  | 21          |
| 2.5.5 Fertilización  | 23          |
| 2.5.6 Control de malezas                                       | 24          |
| 2.5.7 Plagas y enfermedades                                    | 25          |
| 2.5.8 Cosecha y post cosecha                                   | 26          |
| 2.5.9 Rendimientos   | 27          |
| 2.6 NUTRICIÓN MINERAL  | 28          |
| 2.6.1 Nitrógeno  | 29          |
| 2.6.2 Fósforo  | 30          |
| 2.6.3 Potasio  | 31          |
| 2.6.4 Magnesio   | 32          |
| 2.6.5 Azufre   | 33          |
| 2.6.6 Microelementos   | 34          |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| 2.7         | ABSORCIÓN DE NUTRIENTES   | 39 |
| 2.7.1       | Factores que afectan la absorción de nutrientes   | 39 |
| 2.8         | EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES  | 42 |
| <b>III.</b> | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>   | 43 |
| 3.1         | UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO  | 43 |
| 3.2         | DATOS CLIMATOLÓGICOS  | 43 |
| 3.3         | CARACTERÍSTICAS DEL SUELO   | 44 |
| 3.4         | CARACTERÍSTICAS DEL AGUA  | 45 |
| 3.5         | SEMILLA   | 46 |
| 3.6         | MATERIALES Y EQUIPOS  | 46 |
| 3.7         | FERTILIZANTES EMPLEADOS   | 46 |
| 3.8         | METODOLOGÍA   | 47 |
| 3.8.1       | Tratamientos  | 47 |
| 3.8.2       | Población y Diseño experimental   | 48 |
| 3.9         | INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO   | 50 |
| 3.10        | CARACTERÍSTICAS EVALUADAS   | 52 |
| 3.10.1      | Características cuantitativas   | 52 |
| 3.10.2      | Características cualitativas  | 53 |
| 3.10.3      | Extracción de elementos   | 53 |
| <b>IV.</b>  | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>   | 54 |
| 4.1         | EFFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS DEL CULTIVO DE CHÍA |    |
| 4.1.1       | Número de inflorescencias   | 54 |
| 4.1.2       | Peso de materia seca total  | 54 |
| 4.1.3       | Altura de planta  | 56 |
| 4.2         | EFFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES                           | 57 |
| 4.2.1       | Extracción de nitrógeno:  | 58 |
| 4.2.2       | Extracción de fósforo:  | 59 |
| 4.2.3       | Extracción de potasio:  | 61 |
| 4.2.4       | Extracción de magnesio:   | 62 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.5 Extracción de azufre:   | 64 |
| 4.2.6 Extracción de cobre:  | 65 |
| 4.2.7 Extracción de manganeso:  | 67 |
| 4.2.8 Extracción de hierro:   | 69 |
| 4.2.9 Extracción de molibdeno:  | 71 |
| 4.2.10 Extracción de boro:  | 72 |
| 4.3 EFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN<br>LAS CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DEL CULTIVO DE<br>CHÍA | 74 |
| <b>VI. CONCLUSIONES</b>   | 78 |
| <b>VII. RECOMENDACIONES</b>   | 84 |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b>   | 85 |
| <b>IX. ANEXOS</b>   | 86 |
|   | 94 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Cuadro 1:</b> Características meteorológicas para el año 2014.   | 43          |
| <b>Cuadro 2:</b> Análisis físico – químico del suelo en estudio   | 44          |
| <b>Cuadro 3:</b> Características químicas del agua de riego utilizado en el experimento                           | 45          |
| <b>Cuadro 4:</b> Descripción de los tratamientos del experimento  | 47          |
| <b>Cuadro 5:</b> Elementos, dosis y fuentes aplicados en el experimento   | 48          |
| <b>Cuadro 6:</b> Análisis de varianza del experimento   | 50          |
| <b>Cuadro 7:</b> Promedios para número de inflorescencias y comparación de medias Duncan al 0,05 de probabilidad. | 55          |
| <b>Cuadro 8:</b> Promedios para peso de materia seca total (g) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.        | 57          |
| <b>Cuadro 9:</b> Promedios para extracción de nitrógeno (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.   | 60          |
| <b>Cuadro 10:</b> Promedios para extracción de fosforo (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.    | 62          |
| <b>Cuadro 11:</b> Promedios para extracción de potasio (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.    | 64          |
| <b>Cuadro 12:</b> Promedios para extracción de magnesio (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad    | 65          |
| <b>Cuadro 13:</b> Promedios para extracción de azufre (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.     | 67          |
| <b>Cuadro 14:</b> Promedios para extracción de cobre (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.      | 68          |
| <b>Cuadro 15:</b> Promedios para extracción de manganeso (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.  | 70          |
| <b>Cuadro 16:</b> Promedios para extracción de hierro (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.     | 72          |
| <b>Cuadro 17:</b> Promedios para extracción de molibdeno (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.  | 73          |

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 18:</b> Promedios para extracción de boro (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.             | 75 |
| <b>Cuadro 19:</b> Resumen de los tratamientos junto a las variables a considerar en el experimento, según sus promedios | 76 |
| <b>Cuadro 20:</b> Resumen de las extracciones consideradas en el experimento, según sus promedios                       | 77 |

## INDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1:</b> Exportación de semillas de chía y jojoba (US\$ miles) para los años 2015 y 2016           | 4           |
| <b>Figura 2:</b> Exportación de varias semillas (FOB US\$ miles) para los años 2015 y 2016                 | 4           |
| <b>Figura 3:</b> Distribución de chía ( <i>Salvia hispánica</i> L.) (adaptado de PURECHIA, 2013).          | 6           |
| <b>Figura 4:</b> Aspecto general de <i>Salvia hispánica</i> L. adulta. Fotografía (Di Sapio et al., 2012). | 9           |
| <b>Figura 5:</b> Aspecto general de inflorescencia de <i>Salvia hispánica</i> L.                           | 10          |
| <b>Figura 6:</b> <i>S. hispánica</i> L. Exomorfología del fruto  | 11          |
| <b>Figura 7:</b> Ejemplares de herbario de <i>Salvia hispánica</i> L.                                      | 17          |
| <b>Figura 8:</b> Comparación de muestras foliares del T1 (-N) con el T7 (testigo) y T8 (completo)          | 78          |
| <b>Figura 9:</b> Comparación de muestras foliares del T2 (-P) con el T7 (testigo) y T8 (completo)          | 79          |
| <b>Figura 10:</b> Comparación de muestras foliares del T3 (-K) con el T7 (testigo) y T8 (completo)         | 80          |
| <b>Figura 11:</b> Comparación de muestras foliares del T4 (-Mg) con el T7 (testigo) y T8 (completo)        | 81          |
| <b>Figura 12:</b> Comparación de muestras foliares del T5 (-S) con el T7 (testigo) y T8 (completo)         | 82          |
| <b>Figura 13:</b> Comparación de muestras foliares del T6 (-ME) con el T7 (testigo) y T8 (completo)        | 83          |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Gráfico 1:</b> Distribución de los tratamientos en el invernadero  | 49          |
| <b>Gráfico 2:</b> Promedio para número de inflorescencias             | 55          |
| <b>Gráfico 3:</b> Promedios para peso de materia seca total (g)       | 56          |
| <b>Gráfico 4:</b> Promedios para la altura de planta (cm)             | 58          |
| <b>Gráfico 5:</b> Promedios para extracción de nitrógeno (mg/maceta)  | 59          |
| <b>Gráfico 6:</b> Promedios para extracción de fosforo (mg/maceta)    | 61          |
| <b>Gráfico 7:</b> Promedios para extracción de potasio (mg/maceta)    | 63          |
| <b>Gráfico 8:</b> Promedios para extracción de magnesio (mg/maceta)   | 65          |
| <b>Gráfico 9:</b> Promedios para extracción de azufre (mg/maceta)     | 66          |
| <b>Gráfico 10:</b> Promedios para extracción de cobre (mg/maceta)     | 68          |
| <b>Gráfico 11:</b> Promedios para extracción de manganeso (mg/maceta) | 70          |
| <b>Gráfico 12:</b> Promedios para extracción de hierro (mg/maceta)    | 71          |
| <b>Gráfico 13:</b> Promedios para extracción de molibdeno (mg/maceta) | 73          |
| <b>Gráfico 14:</b> Promedios para extracción de boro (mg/maceta)      | 74          |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Anexo 1:</b> Número de inflorescencias, por tratamiento                               | 95          |
| <b>Anexo 2:</b> Biomasa total (g.) según tratamiento                                     | 96          |
| <b>Anexo 3:</b> Niveles de extracción de nitrógeno en los diferentes tratamientos        | 97          |
| <b>Anexo 4:</b> Niveles de extracción de fósforo en los diferentes tratamientos          | 98          |
| <b>Anexo 5:</b> Niveles de extracción de potasio en los diferentes tratamientos          | 99          |
| <b>Anexo 6:</b> Niveles de extracción de magnesio en los diferentes tratamientos         | 100         |
| <b>Anexo 7:</b> Niveles de extracción de azufre en los diferentes tratamientos           | 101         |
| <b>Anexo 8:</b> Niveles de extracción de cobre en los diferentes tratamientos            | 102         |
| <b>Anexo 9:</b> Niveles de extracción de manganeso en los diferentes tratamientos        | 103         |
| <b>Anexo 10:</b> Niveles de extracción de hierro en los diferentes tratamientos          | 104         |
| <b>Anexo 11:</b> Niveles de extracción de boro en los diferentes tratamientos            | 105         |
| <b>Anexo 12:</b> Niveles de extracción de molibdeno en los diferentes tratamientos       | 106         |
| <b>Anexo 13:</b> Análisis de Variancia en número de inflorescencias                      | 107         |
| <b>Anexo 14:</b> Análisis de Variancia en biomasa total de plantas                       | 107         |
| <b>Anexo 15:</b> Análisis de Variancia en contenido de nitrógeno                         | 108         |
| <b>Anexo 16:</b> Análisis de Variancia en contenido de fósforo                           | 108         |
| <b>Anexo 17:</b> Análisis de Varianza en contenido de potasio                            | 109         |
| <b>Anexo 18:</b> Análisis de Variancia en contenido de magnesio                          | 109         |
| <b>Anexo 19:</b> Análisis de Variancia en contenido de azufre                            | 110         |
| <b>Anexo 20:</b> Análisis de Variancia en contenido de cobre                             | 110         |
| <b>Anexo 21:</b> Análisis de Variancia en contenido de manganeso                         | 111         |
| <b>Anexo 22:</b> Análisis de Variancia en contenido de hierro                            | 111         |
| <b>Anexo 23:</b> Análisis de Variancia en contenido de boro                              | 112         |
| <b>Anexo 24:</b> Análisis de Variancia en contenido de molibdeno                         | 112         |
| <b>Anexo 25:</b> Germinación de semillas de chía ( <i>Salvia hispánica</i> L).           | 113         |
| <b>Anexo 26:</b> Disposición radial de las semillas de chía                              | 113         |
| <b>Anexo 27:</b> Germinación de semillas de chía ( <i>Salvia hispánica</i> L).           | 114         |
| <b>Anexo 28:</b> Disposición radial de las semillas de chía                              | 114         |
| <b>Anexo 29:</b> Medición de altura de las plantas de chía ( <i>Salvia hispánica</i> L). | 115         |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Anexo 30:</b> Comparación de las muestras foliares entre todos los tratamientos aplicados en el experimento | 116 |
| <b>Anexo 31:</b> Comparación de las inflorescencias entre todos los tratamientos aplicados en el experimento   | 117 |

## RESUMEN

Mucho de conocimientos adquiridos hasta el momento sobre la *Salvia hispánica L.* se relaciona con la calidad de la semilla y aspectos genéticos. A pesar de existir varios trabajos que dan cuenta de las diferentes respuestas de este cultivo al aporte de los diversos elementos que conforman el patrón de la fertilización mineral, no existen mayores antecedentes en el Perú al respecto. Este sólo hecho justifica su investigación agronómica.

Por ello, se realizó un ensayo agronómico en los terrenos del Laboratorio de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía”, sito en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con la finalidad de determinar el efecto de la exclusión de macro y micro nutrientes en la fertilización del cultivo de Chía. Se estudiaron ocho tratamientos: seis tratamientos fueron sometidos a la exclusión de un elemento en su fertilización, siendo los elementos N, P, K, Mg, S, y micro nutriente (Cu, Mn, Fe, B y Mo), mientras que el tratamiento siete es el testigo carente de fertilización, y el tratamiento ocho, es el testigo con fertilización completa. El estudio correspondió a las diversas fórmulas con la exclusión de elementos minerales imprescindibles en la nutrición mineral bajo dosificaciones teóricamente asumidas como ideales. Los tratamientos fueron evaluados estadísticamente de manera comparativa con la prueba Duncan con un nivel de significación 0.05. Los parámetros a evaluar fueron: número de inflorescencias, materia seca total, altura de planta, extracción foliar de los nutrientes, y los síntomas de sus deficiencias para cada tratamiento.

Los resultados obtenidos mostraron que para el número de inflorescencias, materia seca total y altura de planta, las carencias de nitrógeno y fósforo fueron altamente significativos, corroborando su importancia en el desarrollo del cultivo de *Salvia Hispánica L.* Con respecto al efecto de la exclusión de macro y micro elementos en la extracción de nutrientes se obtuvo una fertilización con exclusión de N y P es como no fertilizar, es así que una sinergia del nitrógeno y el fósforo en relación a una absorción de la mayoría de los elementos minerales importantes para el desarrollo de productivo de la chía. Por otro lado, con respecto a los micro nutrientes, sus ausencias no resultaron significativas.

**Palabras clave:** Extracción de elementos, Nitrógeno, Fósforo, *Salvia hispánica L.*

## ABSTRACT

Much of the knowledge acquired so far on chia (*Salvia hispánica* L.) is related to the quality of the seed and genetic aspects. Although there are several works that account for the different responses of this crop to the contribution of the various elements that make up the pattern of mineral fertilization, there is no greater background in Peru in this regard. This fact alone justifies his agronomic research.

For this reason, an agronomic trial was carried out in the Laboratory and Greenhouse of Soil Fertility "Sven Villagarcía", located in the campus of the National Agrarian University La Molina, with the purpose of determining the effect of the exclusion of macro and micro nutrients in the fertilization of Chia cultivation. Eight treatments were studied: six treatments were subjected to the exclusion of an element in its fertilization, being the elements N, P, K, Mg, S, and micro nutrient (Cu, Mn, Fe, B and Mo), while the Treatment 7 is the control without fertilization, and treatment 8, is the control with complete fertilization. The study corresponded to the different formulas with the exclusion of mineral elements essential in mineral nutrition under dosages theoretically assumed as ideal. The treatments were statistically evaluated comparatively with the Duncan test with a 0.05 level of significance. The parameters to be evaluated were: number of inflorescences, total dry matter, plant height, foliar extraction of the nutrients, and the symptoms of their deficiencies for each treatment.

The results obtained showed that for the number of inflorescences, total dry matter and plant height, nitrogen and phosphorus deficiencies were highly significant, corroborating their importance in the development of the *Salvia hispánica* L. crop. Regarding the effect of the exclusion of macro and micro elements in the extraction of nutrients was obtained a fertilization excluding N and P is as not to fertilize, it is so a synergy of nitrogen and phosphorus in relation to an absorption of most of the mineral elements important for the development of productive chia. On the other hand, with respect to the micro nutrients, their absences were not significant.

**Keywords:** Extraction of elements, Nitrogen, Phosphorus, *Salvia hispánica* L.

## I. INTRODUCCION

*Salvia hispánica* L., es originaria de Mesoamérica, su mayor diversidad genética se presenta en la vertiente del Océano Pacífico. Su centro de origen está comprendido entre México y Guatemala (Cahill, 2004), siendo nativa de las áreas montañosas del oeste y centro de México (Beltrán-Orozco y Romero, 2003). Su nominación ‘chía’, corresponde en realidad a una adaptación españolizada del término nahua *chían* o *chien* (plural), el mismo que en náhuatl significa “semilla de la que se obtiene aceite” (Watson, 1938) citado por Guiotto (2014).

Existen evidencias que dan cuenta de que la semilla de chía fue empleada como alimento hacia el año 3500 a.C., siendo cultivada en el Valle de México entre los años 2600 y 900 a.C. por las civilizaciones teotihuacanas y toltecas. Asimismo, fue uno de los principales componentes de la dieta de los aztecas, junto con el amaranto, el maíz y cierta variedad de porotos (Rodríguez, 1992) citado por Guiotto (2014).

Luego de su parcial desaparición de 500 años aproximadamente, desde el fin del siglo pasado (Beltrán-Orozco, 2003), la chía ha suscitado un creciente interés debido al descubrimiento de múltiples usos y propiedades. Su revalorización se basa en la cantidad de grasa, fibra y proteína de gran valor nutritivo, para ser usada en la industria alimentaria (Vásquez-Ovando et al., 2007).

Con la llegada de los españoles a América, los sistemas productivos y de comercialización de chía se perdieron (Ayerza y Coates, 2006). Este acontecimiento determinó que en la actualidad exista un escaso conocimiento de la agronomía de la especie (Ayerza y Coates, 1996; Alvario, 2013). Mucho de conocimientos adquiridos hasta el momento sobre la *Salvia hispánica* L. se relaciona con la calidad de la semilla y aspectos genéticos, mientras que hay una carencia de la literatura científica sobre el manejo del cultivo (Bochicchio et al., 2015).

El Perú viene abriéndose paso al negocio de la semilla de chía. Este sólo hecho justifica su investigación agronómica. Siendo el Perú un país megadiverso, con diferentes microclimas, poseen condiciones aptas para el desarrollo de un cultivo.

Así, a las propiedades nutritivas y a una creciente demanda en los mercados internacionales, se suma el hecho de que la chía es uno de los cultivos potencialmente rentables para las condiciones de nuestro país.

A pesar de existir varios trabajos que dan cuenta de las diferentes respuestas de este cultivo al aporte de los diversos elementos químicos que conforman el patrón de la fertilización mineral, no existen mayores antecedentes en el Perú al respecto. Así, una investigación centrada en la respuesta de la planta a los principales nutrientes minerales requeridos, irá explicando el comportamiento de este cultivo a nuestras condiciones climáticas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Determinar el efecto de la exclusión de macro y micro elementos en la fertilización del cultivo de Chía.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la extracción de nutrientes del cultivo de Chía, frente a la exclusión de macro y micro elementos.
- Reconocer los síntomas tanto visuales y de biomasa, frente a la exclusión de macro y micro elementos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

A continuación, se presenta una revisión de literatura que servirá de apoyo para discutir los resultados de la presente investigación.

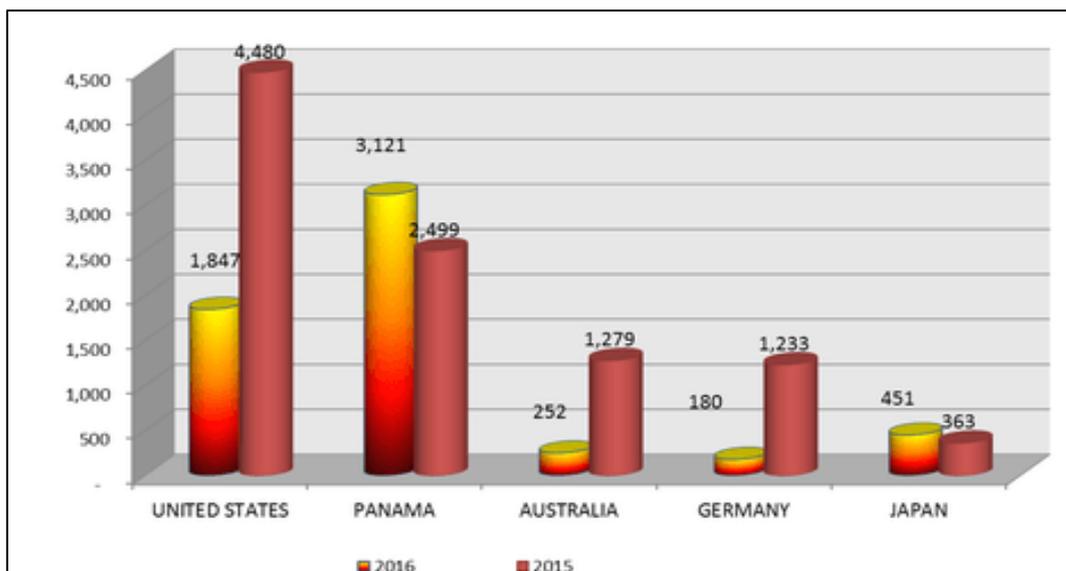
### 2.1 PRODUCCIÓN NACIONAL Y MUNDIAL

Si bien en Argentina, Bolivia y Paraguay, la producción de chía se da únicamente una vez al año (principalmente en épocas de lluvias), Perú ofrece la ventaja de poder dedicarse a su cultivo durante todo el año, con un rendimiento aproximado de 1,200 kg por hectárea. Según el Ing. Alexander Ulloa, dedicado al cultivo de chía desde 2007, las condiciones perfectas se dan en la costa, con una temperatura de entre 19 a 28 °C, lo que en el Perú correspondería a la zona de Chao y Virú. Además, añade que el ciclo de cultivo de chía en Perú tiene un promedio de cuatro meses de duración, acortándose el mismo a unos cien días en verano (Embajada del Perú en Estados Unidos, 2012).

Según Tobaru (2014), la gran parte de la chía consumida actualmente en Perú es traída desde Ecuador. Por otro lado, menciona que los diferentes trabajos de investigación indican que la chía también fue cultivada por los incas, ya que en ciertas partes del Perú se dan las condiciones para su crecimiento (América Económica, 2014).

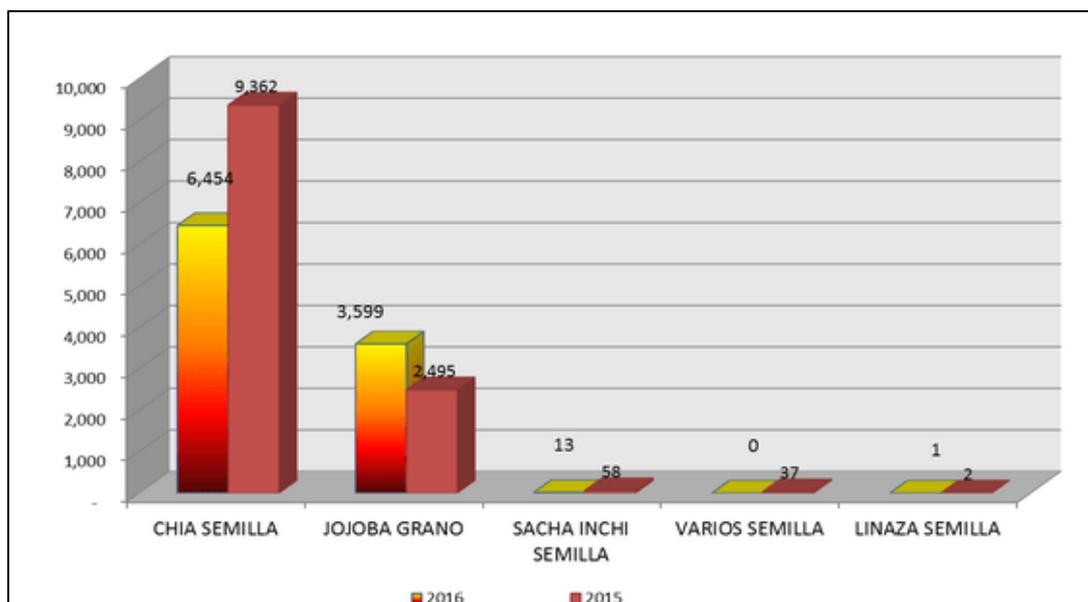
En el Perú, ya hay a quienes les está pasando factura el abuso de esta semilla. Pero no por consumo, sino por su sobreproducción. Ello especialmente en Arequipa y Cusco que –según la Sunat, basado en los impuestos que pagan por exportación– concentran el 98,5% de la producción nacional (Diario La república, 2015). Según el IV Censo Nacional Agropecuario 2012, Arequipa tiene 172 ha, Cusco, 101 ha y otros, 4 ha, para la producción de chía.

Hace cinco años la producción de esta semilla era incipiente y se importaba de México a S/. 120 el kilo. Luego se produjo el boom en el Perú por sus propiedades nutritivas y se multiplicaron sus consumidores y productores. Actualmente ha caído su precio de S/. 70 hasta incluso los S/. 12 por kilogramo (Diario La república, 2015).



Fuente: AGRODATAPERU

**Figura 1: Exportación de semillas de chíá y jojoba (US\$ miles) para los años 2015 y 2016**



Fuente: AGRODATAPERU

**Figura 2: Exportación de varias semillas (FOB US\$ miles) para los años 2015 y 2016**

Durante muchos años las semillas de chíá fueron comercializadas solamente en los mercados mexicanos. En 1965 la chíá comenzó a estar disponible en comercios dietéticos del sudeste de California y Arizona (Hicks, 1966)

La superficie productiva destinada al cultivo de la chía en el mundo en 2013 se estima en 250,000 has, de las cuales casi el 50% son de Argentina (Gonzales, 2014). El precio de la semilla presenta una tendencia alcista en los últimos años debido a la demanda de la industria y los distintos usos en los cuales se ha empezado a usar la chía. En el 2011, la tonelada alcanzaba aproximadamente los 2500 USD y en la actualidad el precio subió a los 7000 USD por tonelada. La mayor demanda proviene de Estados Unidos, Japón y Europa, con precios promedio que oscilan entre 3 y 4 dólares el kilo (Fuente INTA) citado por Gonzales (2014), Aunque no existan estadísticas oficiales, la demanda actual estimada por algunos referentes se ubica en torno a las 30 a 40 mil toneladas anuales. De acuerdo a referentes de las principales firmas que operan en el comercio internacional de chía, esa demanda está en expansión. El aumento de precios registrado en los últimos años indica que, por el momento, la oferta es insuficiente (Gonzales, 2014).

La chía se cultiva comercialmente en zonas tropicales y subtropicales, por ejemplo, zonas de Argentina, Bolivia, Colombia, México y Perú, donde el rango de latitud va de 20 ° 55'N a 25 ° 05'S. Sin embargo, en las latitudes más altas, como Choele-Choele, (39 ° 11'S) Argentina y Tucson (32 ° 14'N), Ariz., EE.UU., las plantas de chía no producen semillas, ya que las semillas son destruidas por las heladas antes de que maduren (Hildebrand et al., 2013). Además, el cultivo se extiende en otras zonas de Sudamérica como: Guatemala, Paraguay, Ecuador, y también Australia (Miranda, 2012). Siendo en la actualidad Australia y Mexico los principales productores a nivel mundial (Embajada del Perú en Estados Unidos, 2012).

Los rendimientos de semillas comerciales generalmente son 500 a 600 kg / ha. Sin embargo, algunos productores han obtenido hasta 1200 kg / ha. Las parcelas experimentales en Argentina han obtenido rendimiento de 2500 kg / ha con riego y fertilizantes nitrogenados (Coates, 2011). Sin embargo, en parcelas experimentales en el Valle de Azapa, región de Arica y Parinacota en Chile, con la implementación de un riego por goteo, se han registrado rendimientos de 2,902.7 kg/ha para el genotipo oscuro (Pizarro, 2014).

Las variaciones en el rendimiento indican la necesidad que tiene el germoplasma de adaptarse a una zona de producción, así como a las buenas prácticas de manejo, para maximizar los rendimientos comerciales (Coates, 2011).

## 2.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Siendo más específico, “la chía es cultivada en los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí y Chiapas, México (Benavides et al., 2010); pequeñas parcelas en Gran Bretaña (Pozo, 2010); provincias de Salta, Tucumán, Jujuy y Catamarca, Argentina (Lobo, 2012); ciudad de Santa Cruz, Bolivia; ciudades de Arequipa y Cusco, Perú (Proexpansión, 2014); Australia; Guatemala (Jamboonsri, et al., 2012); Ciudad de Quito, Ecuador (PROECUADOR, 2014); estados de Florida, Nueva York y Texas, Estados Unidos (USDA, 2013); Medellín, Colombia (Idarriaga et al., 2011); Belice; Costa Rica; Panamá; departamentos de Estelí, Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y Madriz, Nicaragua; República Dominicana; República Democrática del Congo; Kenia; Tanzania; Angola; Zambia; Mozambique; India; Sri Lanka; Tailandia; Camboya; Vietnam; Filipinas; Malasia; Indonesia; Papúa Nueva Guinea; Brasil y Paraguay (Figura 1) (PURECHIA, 2013)” citado por Zuñiga (2014).



**Figura 3: Distribución de chía (*Salvia hispanica* L.) (adaptado de PURECHIA, 2013).**

La distribución de *Salvia hispanica* L. se concentra principalmente entre los paralelos 23° norte y sur aproximadamente, debido al preponderante clima tropical apto para que la chía pueda completar su ciclo de vida. Sin embargo, la presencia de chía fuera de este rango es posible con material vegetal transgénico o dentro de invernaderos en condiciones controladas (Hildebrand et al., 2013).

### **2.3 BENEFICIOS DE LA CHÍA (*Salvia hispánica* L.)**

La información sobre la composición química de la chía ha demostrado que es fuente natural de ácidos grasos omega-3, antioxidantes y fibra dietética, lo cual le confiere un gran potencial para integrar los mercados alimenticios y de la industria de la cosmetología (Bushway y Belya, 1981). Además, está compuesta por un alto porcentaje de proteína (19-23%), y contiene altas cantidades de antioxidantes naturales como: compuestos fenólicos incluyendo ácidos clorogénicos y cafeico, quercetina, kaempferol, y ácidos grasos omega 3, y así también un importante contenido de fibra dietética, mayor al 30% de su peso total (Sandoval y Paredes, 2013).

Su incorporación en la dieta permite disminuir la incidencia de enfermedades coronarias, refuerza el sistema nervioso (Guiotto, 2014). En países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Latinoamérica se utiliza la semilla de chía para confeccionar pan, cereales, galletas, barras de granola (Iglesias, 2013) y bebidas (Kummer and Phillips, 2012), citados por Zuñiga (2014). La autoridad europea de seguridad alimentaria emitió un dictamen sobre la inocuidad de las semillas enteras y trituradas, además autorizó el uso en productos de panaderías con un contenido máximo de 5% (EFSA, 2009).

En la industria de la producción animal, la chía es usada como alimentación para gallinas ponedoras, con la finalidad de enriquecer el huevo con ácidos grasos omega 3 (Ayerza and Coates, 2001). Según Ayerza y Coates (2000), al agregar dosis de chía en la dieta de gallinas “white leghorn” y gallinas híbridas rojas, aumenta el nivel de omega 3, ácidos grasos poliinsaturados y decrece el nivel de colesterol en los huevos tratados, en comparación con los huevos control. Después, Ayerza y Coates (2006a) estudiaron la adición de chía en la dieta de vacas lactantes raza Holstein, ellos concluyeron que, en la leche evaluada, las concentraciones de omega 3 y omega 6 aumentaron. Sin embargo, los resultados no son muy prometedores y promueven más estudios al respecto. Otros usos documentados son el extracto de planta para la elaboración de compuestos con actividad insecticida, como antialimentarios, en la oruga *Spodoptera littoralis* (Pascual et al., 1997). Además, agregan que el follaje es una excelente fuente de monoterpenos y sesquiterpenos, ambos aceites esenciales que podrían ser usados como saborizantes, fragancias y medicina (Giannouli y Kintzios, 2010), citado por Zuñiga (2014).

## 2.4 ASPECTOS BOTÁNICOS, MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS EN CHÍA

### 2.4.1 Taxonomía

Según la clasificación taxonómica propuesta por Linneo, la posición sistemática de la chía (*Salvia hispánica* L.) es la siguiente:

- Reino: Plantae.
- División: Magnoliophyta.
- Clase: Magnoliopsida.
- Familia: Lamiaceae.
- Sub Familia: Nepetoideae.
- Género: Salvia.
- Especie: hispánica.

La Chía (*Salvia hispánica* L.) es una planta herbácea anual, con ruta fotosintética C3 (Alfaro y Silva, 2013). Se adapta a una alta variedad de suelos, prefiriendo los de textura ligeras a medias, bien drenados y también puede soportar altos niveles de acidez (Bendaña, 2012). Esta familia está constituida por 300 géneros y 7 subgéneros, con alrededor de 7500 especies (Disapio et al., 2012).

### 2.4.2 Morfología

La chía (*Salvia hispánica* L) es una planta herbácea anual que mide de 1 a 1.5 m de altura (Disapio et al., 2012). Por otro lado, Gutierrez-Rosatti (2004) menciona que la chía es una planta herbácea; de tallo cuadrangular y pubescente; presenta hojas simples, opuestas y enteras; posee flores hermafroditas ubicadas en inflorescencias y su fruto es una clusa, que comercialmente se denomina semilla.



**Figura 4: Aspecto general de *Salvia hispanica* L. adulta. Fotografía (Di Sapio et al., 2012).**

**Raíz:** El sistema radical es bien desarrollado y fibroso. Está formado por una raíz principal, muy ramificada. (Barros y Buenrostro, 1997) citado por Almendáriz (2012).

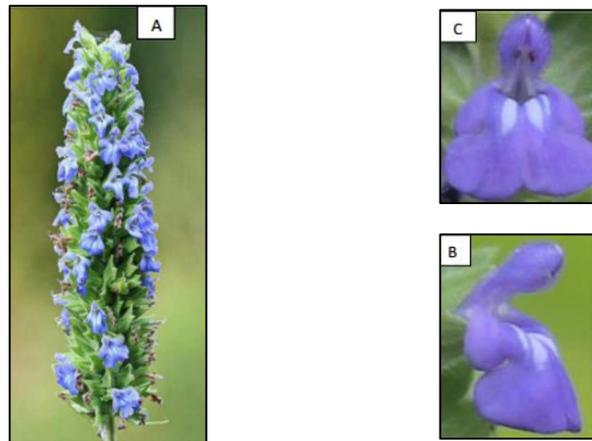
**Tallo:** Son ramificados, aromáticos con tallos cuadrangulares, pubescentes de 1 – (2) - 4 cm de diámetro promedio. En tallos jóvenes se observan estomas sobre elevados cuyas células anexas poseen cutículas estriadas (Disapio et al., 2012).

**Hojas:** Las hojas son simples, opuestas, enteras, lámina oval-elíptica, algo discolora, 8-12 cm de longitud x 4-7 cm de ancho, base cuneada a subcordada, ápice agudo, margen dentado-aserrado, pinnadas, nervadura prominente en el envés, pubescentes, peciolo de 1-3 cm, en la parte superior de la planta y 5-7 cm en las ramificaciones inferiores, pubescente (Disapio et al., 2012).

**Inflorescencia:** Las flores se reúnen en grupos de seis o más en verticilos sobre el raquis de una inflorescencia denominada verticilastro (Ramamoorthy, 1985 y Martínez, 1959) citado por Hernandez-Gomez et al. (2008). Las inflorescencias pueden ser terminales o axiales (Ayerza y Coates, 2006) citado por Pizarro (2014).

**Flores:** Posee pedúnculo, cáliz persistente, pubescente y bilabiado; corola monopétala, bilabiada, de color morado o azul; labio inferior se expande hacia fuera y abajo, el superior es ascendente y se arquea en forma de casco o gálea (Ramamoorthy, 1985 y Martínez, 1959) citado por Hernandez-Gomez et al. (2008). Además, la corola es tubular, de color azul, con

cuatro estambres, dos de los cuales son más grandes y estériles. El ovario es discoideo y el estigma bífido. Las características de los estambres, el color y la forma de la flor y la presencia del disco nectarífero, hacen presumir que la chía es alogámica (transfieren polen de la antera de la flor de la planta al estigma de la flor de una planta genéticamente diferente) y entomófila (polinizada por insectos) (Ayerza y Coates, 2006) citado por Pizarro (2014).

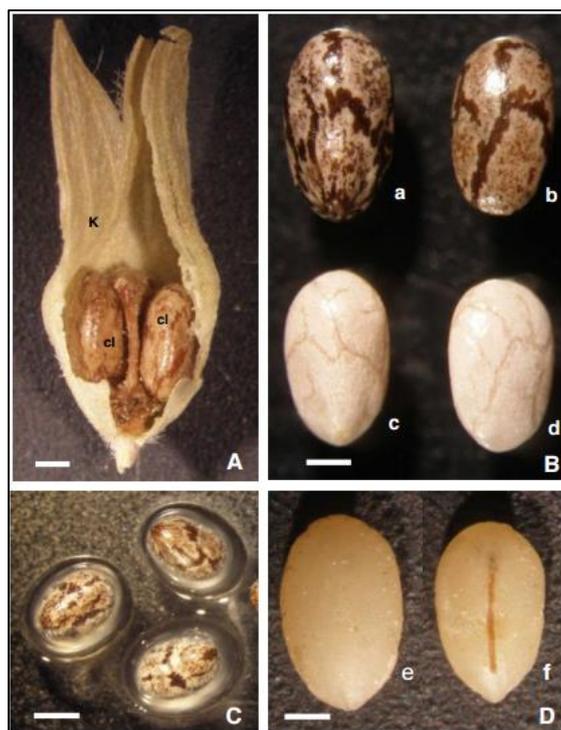


**Figura 5: Aspecto general de inflorescencia de *Salvia hispanica* L. A: Inflorescencia. B: Flor vista lateral. C: Flor vista frontal (Sandoval, 2012).**

**Fruto:** Proveniente de cada flor es un carcérulo que a la madurez produce pequeños mericarpos indehiscentes denominados núculas o clusas, en número de 1 a 4, incluidas en el cáliz frecuentemente acrescente (Figura 6A); son monospermas, obovoides, de simetría dorsiventral y tamaño de 1,5 a 2 mm de long. y 1 a 1,2 mm en el diámetro medio. Cara ventral subtrígona con una pequeña cresta originada en el hilio, cara dorsal convexa. En mayor porcentaje se presentan de color pardo grisáceo con abundantes manchas de contornos muy irregulares de color castaño oscuro y que se destacan más en los límites de las areolas. En menor proporción se observan clusas de color blanquecino con la inserción basal y los límites de las areolas, de color castaño claro (Figura 6B). El arreglo epidérmico del pericarpio le confiere una superficie glabra, brillante, generalmente lisa o apenas tuberculada y dividida en áreas irregulares que originan numerosas areolas delimitadas por surcos muy suaves. En general las células epidérmicas poseen contorno poligonal, de paredes radiales no visibles y tangencial externa lisa. Poseen inserción basal con hilio blanquecino de contorno subcircular y crateriforme, localizado en la base de la cara ventral. La microescultura presente en el hilio, siguiendo la terminología propuesta por Barthlott (1998),

está conformada por ceras epicuticulares de tipo cristaloides como placas cúbicas y granulosas (Di Sapia et al., 2012).

Las características morfológicas y fenológicas que diferencian a las variedades domesticadas de las silvestres de *S. hispánica* son cálices cerrados, semillas de mayor tamaño, inflorescencias más compactas, flores más grandes, presencia de dominancia apical y uniformidad en los periodos de floración y maduración (Cahill, 2005), citado por Guiotto (2014).



**Figura 6: *S. hispánica* L. Exomorfología del fruto: A: clusas (cl) incluidas en el cáliz (K). B: exomorfología de las clusas: a, b: clusas oscuras; c, d: clusas claras; a y c: cara ventral; b y d: cara dorsal. C: Mixocarpiya: clusas hidratadas con formación de mucílago. D: exomorfología de la semilla: e: cara dorsal, f: cara ventral. Escalas: A, B, D: 0,5 mm, C: 1 mm.**

**Semilla:** Es horizontal, albuminosa, se inserta una por clusa y ocupa todo el volumen del fruto. Contorno oblongo-elíptico, forma levemente navicular, el extremo radicular es angosto y cotiledonal ancho; la superficie es opaca, reticulada, de color amarillo-ocráceo dimensiones son 1,3 a 1,8 mm de largo y 1 a 1,2 mm de ancho. La cara ventral es subtrígona, con una fina depresión en sentido longitudinal de color marrón claro. La cara ventral. El hilo

es subcircular, crateriforme y se encuentra en el extremo radicular de la depresión ventral presenta restos funiculares de color oscuro. La cara dorsal es plana y convexa. Al igual que la mayoría de las semillas, posee episperma o cubierta seminal, endosperma y embrión (Di Sapio et al., 2012).

### **2.4.3 Fisiología vegetal**

#### **Fotoperiodismo**

De acuerdo a Ayerza y Coates (2006), la fase reproductiva de *Salvia hispánica* L. responde al fotoperiodo y ésta ocurre cuando el acortamiento del día sobrepasa un umbral determinado, por lo tanto, corresponde a una planta de día corto (PDC).

El germoplasma de la chía domesticada presenta un fotoperiodo de inducción floral de 12 horas aproximadamente, por lo que en el hemisferio norte la chía comienza a florecer en el mes de octubre y en el hemisferio sur en abril (Jamboonsri et al., 2012). En semejanza con lo anterior, resultados preliminares de Tello (2014), sugieren que la inducción floral ocurre cuando el acortamiento del día sobrepasa un umbral de 11,5 horas, valor observado en chía blanca proveniente de México, establecida en Chile. Poblaciones de chía domesticada procedentes de Nicaragua, presentan una respuesta al fotoperiodo atípica, la inducción floral ocurre con un fotoperiodo de alrededor de 10,5 horas, pero carecen de uniformidad en la madurez (Cahill, 2005) citado por Zuñiga (2014). En la actualidad se desconoce la existencia de germoplasma de chía silvestre o domesticado competente para florecer en condiciones de día largo (Jamboonsri et al., 2012).

Con el material vegetal existente, la dispersión del cultivo para producción de semillas está restringido a los paralelos 22°55' norte y 25°05' sur, en países como: Argentina, Bolivia, Colombia, México y Perú (Hildebrand et al., 2013), en latitudes mayores como 39°11' sur y 32°14' norte aproximadamente, la probabilidad de llevar a término el cultivo es escasa, debido a que éste muere por las heladas antes de florecer (Ayerza y Coates, 2006) citado por Zuñiga (2014).

## **Fotosíntesis**

En la chía (*Salvia hispánica* L.), el proceso de fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico y la formación de este en compuestos orgánicos ocurren a través de una cadena de reacciones químicas llamadas ciclo de Calvin Benson. Las especies vegetales en donde ocurre solo éste proceso se denominan plantas C3, llamadas así porque el fosfoglicerato, primer compuesto orgánico que incorpora el dióxido de carbono, tiene una estructura de tres carbonos (Cordero, 2003). La proteína ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa/oxidasa, abreviada RuBisCO es la enzima catalizadora de una parte del ciclo de Calvin-Benson, los genes que codifican dicha proteína han sido secuenciados parcialmente en *Salvia hispánica* L. (UNIPROT, 2014) citado por Zúñiga (2014).

Un estudio realizado en chía establecida en la ciudad de Santiago, Chile, registró valores de fotosíntesis de 15.1 y 9.9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , en plantas regadas a capacidad de campo y con estrés hídrico, respectivamente. Los resultados del estudio permitieron establecer que en plantas con un nivel de estrés hídrico de -3,0 MPa, la tasa fotosintética se reduce solo un 35%, en comparación con plantas regadas, además las plantas sometidas a estrés tuvieron buena recuperación de crecimiento, alcanzando la floración al igual que las plantas que no fueron sometidas a estrés hídrico. El estudio concluye que la chía es altamente resistente a la escasez de agua (Alister et al., 2013).

## **Transpiración**

El proceso por el cual el agua del suelo se mueve desde la superficie de la raíz, a los vasos xilemáticos hasta llegar a las células del mesófilo en donde se evaporará por las paredes celulares, se denomina transpiración (Silva et al., 2010). La medición de la transferencia de vapor de agua principalmente desde las estomas hasta la atmosfera se denomina tasa transpiratoria (Zúñiga, 2014).

De acuerdo con el estudio de Alister et al. (2013), la chía sometida a riego a capacidad de campo presentó una tasa transpiratoria de 6.2  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , evaluada durante el periodo de fase vegetativa, entre los 54 y 78 días después de siembra (DDS). En el mismo periodo, pero en plantas sometidas a estrés hídrico total durante 24 días previos al inicio de la floración, la tasa transpiratoria alcanzó un valor de 4.9  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Datos no publicados de un estudio elaborado por Silva (2013), muestran la transpiración de cuatro accesiones de chía medidas durante el día. La tasa transpiratoria más alta se observó en la accesión Santa Cruz, con un

valor de  $8.2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^2\text{s}^{-1}$ . Al contrario, la accesión Acatic presentó la menor tasa transpiratoria registrada, con un valor de  $4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^2\text{s}^{-1}$ .

La eficiencia de transpiración a escala instantánea para *Salvia hispánica* L. según el estudio de Alfaro y Silva (2013) corresponde a  $3.4 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ . Un estudio de Alister et al. (2013), agrega que la eficiencia de transpiración observada en chía alcanzó valores de  $2.43 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  en plantas regadas y  $2.02 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  en plantas sometidas a estrés hídrico. Otro estudio realizado en la región de Coquimbo por Alister et al., (2014), menciona que la EUA en términos de materia seca producida por cantidad de agua aplicada fue de  $1,34 \text{ kg MS m}^{-3}$  en plantas regadas al 100% de la evapotranspiración potencial y de  $1.45 \text{ kg MS m}^{-3}$  en plantas regadas al 40% de la evapotranspiración potencial.

### **Conductancia estomática**

La apertura estomática implica la ocurrencia de dos procesos vitales para la vida de las plantas: la fotosíntesis, gracias a la difusión de  $\text{CO}_2$  atmosférico hacia el interior del mesófilo; y la transpiración, debido a la pérdida de agua por evaporación desde el mesófilo hacia la atmosfera. Esto determina que el grado de apertura de las estomas tenga gran importancia para los estudios de producción de biomasa (De La Torre, 2014).

Mediciones de conductancia estomática en *Salvia hispánica* L. han alcanzado valores de 348 y  $224 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , en plantas regadas a capacidad de campo y con estrés hídrico, respectivamente. Como era de esperar, en condiciones de estrés, ocurre un cierre estomático parcial, con la finalidad de reducir la evaporación de agua a través de las estomas (Alister et al. 2013).

## **2.5 ASPECTOS AGRONÓMICOS EN EL CULTIVO DE CHÍA**

A continuación, se resumen los principales aspectos agronómicos a considerar en el cultivo de chía.

## **2.5.1 Requerimientos edafoclimáticos**

### **Pluviosidad**

Los requerimientos hídricos de *Salvia hispánica* L. son de 250 a 300 mm de precipitación (Pozo, 2010). Por otro lado, Bendaña (2012) menciona que la chía debe ser cultivada bajo una precipitación mínima de 500 mm; Ayerza y Coates (2006) agregan que la chía ha sido cultivada en secano con 400 mm de lluvia en el valle de Lerma, Argentina, hasta 1,100 mm de precipitación en el valle de Cauca, Colombia; y Miranda (2012), en base a su experiencia en el cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.) en Nicaragua, indica que se debe establecer en zonas que al menos presenten una lluvia por semana o un promedio de 800 y 900 mm anuales, además se desarrolla entre los 600 y 1,400 msnm.

En el mismo sentido, un estudio de Casas, 1990 (citado por Orozco 1993) menciona que la chía puede ser una alternativa de cultivo para lugares con baja precipitación, al alcanzar un rendimiento de 480 kg/ha en ensayos donde se les restringió el riego a las plantas.

### **Luz**

La luz es un factor importante en el cultivo de chía, ya que es sensible a la duración del día, la estación de crecimiento depende de la latitud donde se planta (Bradeau, 1985) citado por Almendáriz (2012).

### **Temperatura**

El cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.) requiere de temperaturas no mayores a los 33°C para evitar afectación de la polinización por la resequedad del polen (Miranda, 2012). Además de soportar temperaturas hasta 33°C, ahora bien, no tolera las heladas y no fructifica bajo sombra (Gutiérrez, 2014).

### **Humedad relativa**

Requiere una humedad relativa entre 40 y 70% (Ayerza y Coates, 2006), citado por Almendariz (2012).

## **Suelo**

En cuanto a los requerimientos edáficos, la chía (*Salvia hispánica* L.) se establece mejor en suelos livianos como el areno-limoso, aunque también se puede producir en suelos más pesados como el limoso arcilloso, siempre y cuando exista buen drenaje (Lobo et al., 2011; Ayerza y Coates, 2006) citado por Zuñiga, 2016. Además, Miranda (2012) indica que el cultivo requiere Suelo fértil con pendiente menor al 20% de desnivel, y suelos con poco historial de malezas.

## **pH**

La chía (*Salvia hispánica* L.) requiere de suelos con un pH aproximado de 6.5 a 7.5 (Pozo, 2010). Por otro lado, es factible cultivarla bajo condiciones de riego con agua que presenta niveles de salinidad de 3.0 ds/m, sin embargo, éste afecta negativamente la producción de aceite en un 20%, pero no se afecta estadísticamente la proporción de ácido alfa-linolénico en comparación con una condición de agua no salina (Heuer et al., 2002).

### **2.5.2 Variedades, genotipos y cultivares de chía**

De acuerdo a Cahill (2005), existe gran diversidad genética entre poblaciones silvestres de *Salvia hispánica* L. Así mismo, un estudio de Hernández y Miranda (2008) establece que esto se debe probablemente a la accidentada geografía de donde es originaria, la extensa área de distribución y su sistema de polinización altamente autógamo. Se han descrito dos ideotipos o variedades de chía: *Salvia hispánica* L. var. *Chionocalyx* Fernald, con localidad tipo en Uruapan, Michoacán, y *Salvia hispánica* L. var. *intonsa* Fernald, cuya localidad tipo es Buena Vista, Departamento de Sta. Rosa, Guatemala (Fernald, 1907) citado por Hernández y Miranda, 2008. En su estudio, Fernald (1907), (citado por Zuñiga, 2014), describe brevemente a la variedad *chionocalyx* con: hojas levemente pubescentes, color verde intenso en el lado adaxial y más suave en el abaxial, nervadura con presencia de pelos cortos, inflorescencias de 5 a 10 cm de largo y 1 a 1,5 cm de espesor y espigas con gran densidad de flores blancas con cáliz (Figura 14A). La variedad *intonsa* la describe con: hojas y tallos de la parte superior de la planta con pubescencias, inflorescencias cortas y gruesas de 1,5 a 5,5 cm de longitud y 1,5 a 2 cm de espesor y cáliz tomentoso (Figura 14B).



**Figura 7: Ejemplares de herbario de *Salvia hispánica* L. A: variedad *chionocalyx*, extraído del herbario de plantas vasculares de la Universidad Estatal de Arizona B: variedad *intonsa*, extraído del herbario virtual de la Universidad de Nueva York.**

A pesar de la existencia de las variedades de chía mencionadas anteriormente, en la actualidad la investigación científica se realiza en base a genotipos y accesiones procedentes de localidades productoras y de origen de la chía. Los genotipos descubiertos se han nombrado como: iztac 1, iztac, 2, tzotzol, miztic y tilitic. La diferencia observable de estos genotipos es el color de la clusa, Iztac 1 e iztac 2 tienen la clusa de color blanco, tilitic y miztic poseen clusas de color negro y tzotzol posee una mezcla entre clusas blancas y negras (Ayerza, 2013; Ayerza and Coates, 2009).

Tzotzol es la variedad más reconocida. Esta contiene un 80% de semilla negra y un 20% de semilla blanca. Una de sus características principales es la que emite inflorescencias azuladas. (Poehlman, 1998) citado por Almendáriz (2012).

### 2.5.3 Fenología

Los componentes abióticos principales y que determinan la duración de las distintas etapas fenológicas del ciclo de vida de la chía (*Salvia hispánica* L.) corresponden a la temperatura y el fotoperiodo (Zuñiga, 2014).

La inducción del desarrollo mediada por la temperatura ha sido estudiada por Ayerza (2009), quien analiza el ciclo de vida de la chía en 5 ecosistemas diferentes con distinta altitud, temperatura y precipitación. La investigación establece que la duración del ciclo del cultivo aumenta a medida que la altitud a la cual la chía (*Salvia hispánica* L.) fue establecida también aumenta, existiendo una correlación positiva. La respuesta a esta observación se explica porque localidades con mayor altitud poseen temperaturas medias más bajas. La duración del ciclo del cultivo varió desde 150 días, en el desierto semiárido del chaco, Argentina, el cual tiene una altitud de 1,156 m.s.n.m. y una temperatura media anual de 17 °C; a 100 días en el bosque tropical lluvioso de Ecuador, el cual posee una altitud de 300 m.s.n.m. y una temperatura media anual de 25 °C (Zuñiga, 2014).

A pesar que la temperatura es fundamental en el desarrollo de la chía, el fotoperiodo es necesario para inducir el proceso de floración. De acuerdo al trabajo de Jamboonsri et al. (2012), la chía es una planta de día corto, debido que la fase reproductiva comienza cuando la duración del día es inferior a 12 horas.

Por lo tanto, la duración de la fase vegetativa en chía está sujeta a la latitud en donde se establezca debido a la sensibilidad de la chía al fotoperiodo; sin embargo, la planta requiere traspasar una fase de “juventud” o necesita de una determinada acumulación de días grado para poder ser perceptiva al estímulo lumínico (Tello, 2014). Un estudio de Valero (2014), menciona que plantas que han acumulado un mínimo de 134DG han sido perceptivas al acortamiento del día y han logrado la floración.

Los principales aspectos de la fenología en la chía pueden resumirse de la siguiente manera:

#### a) Germinación - emergencia

La facultad germinativa de la chía se mantiene durante un periodo de 5 años, aunque prácticamente de la utilización no debe pasar los dos años, ya que, a medida que pasa el

tiempo, disminuye la capacidad de germinación. (Martínez, 1994) citado por Almendáriz (2012).

Estudios sobre el porcentaje de germinación de semillas de chía sometidas a una temperatura de 23°C y evaluadas a los 21 días después de siembra, mostraron resultados dispares. El poder germinativo de la semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) varió entre 27 y 87%, esto debido a que no se tuvo conocimiento en cuanto a la longevidad de la semilla utilizada y su condición de almacenaje (Bueno et al., 2010). En un trabajo similar de Ayerza y Coates (1996), la semilla de chía alcanzó un porcentaje de germinación de 75 a 78%.

El rango de temperaturas donde se alcanzó el potencial germinativo fue 15,7 a 25,0 °C (Panagiotopoulos, 2010) citado por Zuñiga (2014). Otro estudio realizado por Rovati et al. (2012), concuerda con las temperaturas óptimas antes mencionadas, ya que al evaluar el porcentaje de germinación en relación a dos temperaturas (20 y 25 °C), las semillas tuvieron un 91% aproximado de germinación, el estudio complementa que, a 25 °C, las semillas presentaron mayor crecimiento, altura y desarrollo de estructuras funcionales.

#### **b) Germinación – Inicio de ramificación**

La ramificación en el cultivo de la chía empieza a los 30 o 40 días dependiendo la altura se encuentre sembrada (Almendáriz, 2012).

El tiempo térmico necesario para completar este estado fenológico correspondió a 330 DG en un estudio llevado a cabo con dos fechas de siembra (Arriagada, 2014). En un trabajo similar, Tello (2014) obtuvo resultados diferentes, el tiempo térmico registrado desde siembra a inicio de ramificación fue de 424, 324 y 210 DG ( $T_b = 10$  °C), evaluado en tres fechas de siembra distintas. En relación a los trabajos citados anteriormente, según Arriagada (2014), aun variando la fecha de siembra, el tiempo térmico tuvo la misma acumulación de días grado. Por lo tanto, estos estados fenológicos tienen directa relación con la temperatura. En cambio, Tello (2014) menciona que el inicio de ramificación depende de dos componentes, la temperatura y la duración del largo del día, ya que, al atrasar la fecha de siembra, no solo se adelantó la floración, sino también se acortó el periodo entre siembra e inicio de ramificación. Por lo tanto, la diferencia de estos trabajos es relevante y se puntualiza en el componente abiótico que determina la incidencia del inicio de ramificación.

### **c) Inicio de ramificación – Inicio de floración**

Las primeras espigas se hacen los 60 días y junto a ellas primeras inflorescencias (Martínez, 1994) citado por Almendáriz (2012).

La duración de este estado fenológico en *Salvia hispánica* L. depende principalmente de dos factores abióticos, la temperatura y el fotoperiodo. De acuerdo al trabajo de Arriagada (2014), el tiempo térmico del cultivo de chía, sembrado en distintas fechas, registró una acumulación de días grado diferente, siendo 1,075 DG, para la siembra del 7 de Diciembre y 818 DG para la fecha de siembra del 31 de Diciembre del 2010. En ambas fechas, la floración ocurrió el 7 de abril. Otro trabajo realizado en la localidad de Las Cruces por Tello (2014), registró valores de 140, 154 y 164 DG ( $T_b = 10^\circ\text{C}$ ), para las fechas de siembra 4 de enero, 18 de febrero y 2 de febrero. Para esta localidad, el inicio de floración ocurre los últimos días de abril.

### **d) Fase reproductiva**

La maduración se hace presente a los 120 días lo cual demuestra su color característico café en las espigas. (Martínez, 1994) citado por Almendáriz (2012). Por otro lado, también Miranda (2012), indica que desde la siembra hasta la cosecha son de 120 a 130 días.

Esta fase tuvo una duración promedio de 85, 80 y 64 días en las localidades de Valle de Azapa ( $18^\circ 20' \text{ S}$ ,  $70^\circ 1' \text{ O}$ ), Canchones y Las Cruces, respectivamente. Debido a la sensibilidad de la chía al fotoperiodo, el inicio de la fase reproductiva en la localidad de Las Cruces comenzó entre el 24 y 29 de abril. Estos resultados fueron distintos a lo observado en las localidades de Valle de Azapa y Canchones, donde el cultivo sembrado en distinta fecha, inició la floración en fechas diferentes pero concentradas entre mediados de marzo y mediados de abril (Baginsky et al., 2014). De acuerdo al trabajo de Tello (2014), el tiempo térmico acumulado entre el estado de inicio de floración hasta cosecha fue de 108 DG ( $T_b = 10^\circ\text{C}$ ), evaluado en la localidad de Las Cruces.

### **e) Inicio de formación de grano – Madurez de cosecha**

De acuerdo al estudio de Arriagada (2014), este periodo duró aproximadamente 32 días y la sumatoria de tiempo térmico correspondió a 133 DG. Cabe destacar que el criterio de cosecha

del trabajo citado anteriormente se realiza en base al color de las clusas y no por porcentaje de humedad, esto indicaría que la duración de este estado puede variar según la percepción visual del observador.

#### **2.5.4 Siembra**

Las principales labores culturales en el cultivo de chíá son:

##### **a) Preparación del terreno**

La chíá requiere un terreno franco, mullido, limpio de malas hierbas y bien desmenuzado. La naturaleza de las labores, el modo de ejecutarlas y la época oportuna para su realización. (Almendáriz, 2012).

Bajo la modalidad de siembra al voleo no hay preparación del suelo. En Cambio, en el método de siembra al chorro, si hay una preparación del terreno, se espera una lluvia para aplicar el herbicida post emergente (glifosato) regulando el ph del agua. A los 8 días después de aplicado el herbicida se realiza el surcado de suelo, con menos del 20% de pendiente en curvas a nivel perpendicular a la pendiente del terreno a 50cm entre surcos y 60 cm de profundidad, una vez que estén los surcos forjados se realiza la siembra (Miranda, 2012).

##### **b) Desinfección de semillas.**

Se realiza con una aplicación de malathion en polvo usando 100 gr/10Kg de semilla de chíá. (Almendáriz, 2012).

##### **c) Siembra**

Tomando en cuenta la necesidad y requerimiento de agua para su desarrollo vegetativo resulta propicia la siembra de la chíá a la salida del invierno. (Ayerza y Coates, 2006) citado por Almendáriz (2012). La semilla debe contar con un porcentaje no menor al 80% de germinación (Almendáriz, 2012).

La siembra que se realiza al voleo, se calcula una densidad de 40 plantas por metro cuadrado, esta actividad se realiza después de una lluvia o después de humedecer el suelo, con el fin de ayudar a la germinación. Para lograr una buena distribución de semillas se recomienda la

utilización de un material de relleno, como ceniza, cal o semillas sin despolvar (Miranda, 2012). Para una manzana (7,026 m<sup>2</sup>) se utilizan 6 libras (2.7 kg) de semilla calculando 40 plantas por metro cuadrado bien distribuidas se recomienda hacer el voleo después de una lluvia para evitar daños por insecto como la hormiga y ayudar a la germinación (Miranda, 2012).

Si la siembra se realiza al chorro, entonces se deben preocupar que la semilla quede bien distribuida por metro cuadrado. Se recomienda utilizar 4 libras de semilla por manzana (Miranda, 2012), ósea 2.6 kg de semilla por hectárea, considerando un 10% de mortalidad de plantas por daño de insectos y factores ambientales (Miranda, 2012).

Se recomienda establecer un promedio de 20 plantas por metro cuadrado, ya que cada planta alcanza 1.20 m de alto y 0.4 m de ancho, para obtener una inflorescencia desde 7 hasta 8 pulgadas de alto para alcanzar rendimientos de 15 qq o 1,500 kg. Si la humedad del suelo es favorable la semilla emerge a los 8 días después de la siembra (Miranda, 2012).

Con respecto a la fecha de siembra, en ensayos realizados en el norte grande de Chile, se han alcanzado rendimiento sobre los 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, con fechas de siembra entre mediados de febrero y los inicios de marzo (Baginsky et al., 2014). Un estudio realizado en la provincia de Tucuman (26°48' S, 65°12' O), Argentina, menciona que fechas de siembra realizadas a inicios de febrero (5 y 12 de febrero) han obtenido rendimientos de grano del orden de 879 kg ha<sup>-1</sup> (Lobo et al., 2011). En la localidad de Las Cruces se han obtenido rendimientos promedio de 130 y 157 kg ha<sup>-1</sup> en siembras realizadas el 2 de febrero del 2013, los bajos rendimientos se debieron a problemas de heladas durante la etapa de floración y tendadura de plantas, debido a una mayor altura de éstas a causa de su mayor periodo de crecimiento vegetativo (Tello, 2014; Valero, 2014).

#### **e) Profundidad de siembra**

La semilla de chíá debe sembrarse a no más de 10 mm de profundidad y necesita de un suelo húmedo para germinar, una vez establecidas se comporta bien con cantidades limitadas de agua (Ayerza y Coates, 2006). Una buena cama de semillas, bien labrada, es necesaria para lograr buen contacto entre el suelo y la pequeña semilla, de esta forma se logra un buen establecimiento (Kummer and Phillips, 2012).

## **f) Densidad de siembra**

Un estudio de Ayerza y Coates (2006), menciona que en Argentina y Bolivia utilizan entre 6 a 8kg hectárea de semillas e igual distancia entre hilera que la mencionada anteriormente; igualmente, productores de México utilizan una distancia de 0,75 m entre hilera. De acuerdo a lo mencionado por Coates (2011), la dosis de semilla recomendada para la siembra debe ser entre 5 a 6 kg por hectárea.

En relación a la densidad de plantas, un estudio realizado en la región de Coquimbo (21°51' S, 71°15' O) por Baginsky et al. (2014a) menciona que al establecer 75 plantas metro-1 lineal (1.875.000 plantas/ha) a una distancia entre hilera de 0.4 m, se obtiene un rendimiento de grano de 1,388 kg/ha, esto fue estadísticamente mayor a los tratamientos de 25 y 50 plantas/ metro lineal, el estudio concluyó que los rendimientos en grano aumentan cuando la chíá se establece a densidades de planta más altas.

### **2.5.5 Fertilización**

Cuando se utiliza el método de siembra al voleo, no se realiza remoción del suelo, lo que significa que si utilizamos un fertilizante sólido insoluble se va a perder, porque va a estar expuestos a altas temperaturas, vientos, arrastre por erosión del suelo, lavado por escorrentías de agua, etc. Por lo que se recomienda el uso de fertilizantes foliares en la etapa de desarrollo vegetativo (Miranda, 2012).

Cuando se trabaja con el método de siembra a chorro, lo más recomendable es realizar un análisis de suelo, pero cuando no se realiza y por lo tanto no conocemos el estado nutricional del suelo, tomamos en cuenta esto se recomienda el uso de fertilizantes balanceados como el triple quince (15 N – 15 K<sub>2</sub>O – 15 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 4 qq (400 kg) por manzana (0.7 ha) (Miranda, 2012).

Miranda (2012), recomienda 50 DDS, aplicar fertilizantes foliares 1 litro por manzana (0.7 ha) NPK en frecuencia de cada 15 días hasta el último mes de desarrollo vegetativo, porque en este mes se debe utilizar un foliar enriquecido con 1 litro de boro más 1 litro de fertilizante foliar multimineral para fortalecer la inflorescencia. Y a los 30 DDS se recomienda aplicar 2 quintales de úrea por manzana al voleo después de una lluvia, a los 60 DDS se realiza la segunda aplicación de úrea 1 quintal y una tercera aplicación se recomienda a los 90 DDS.

En total se recomienda 4 qq de úrea. Es importante señalar que esto puede variar según la zona, el tipo de suelo y desarrollo del cultivo.

Actualmente no son conocidos los requerimientos de macro y micronutrientes que la planta de chíá demanda a lo largo de su ciclo de vida. A pesar de lo anterior, productores del noroeste de Argentina aplican 15 a 45 kg de nitrógeno y 37 kg de fósforo. Productores de México utilizan principalmente nitrógeno, en dosis de 68 kg por hectárea (Ayerza y Coates, 2006). Estudios elaborados en Argentina, consideran que el cultivo de chíá requiere 20 ppm de fósforo y 150 ppm de potasio disponibles en el suelo (Ayerza, citado por Tello 2014). Un estudio técnico realizado en Chile agrega que los requerimientos nutricionales del cultivo de chíá corresponden a 51, 53 y 60 unidades de nitrógeno, fosforo y potasio, respectivamente (De Kartzow, 2013).

Son muy susceptibles a la ausencia de nitrógeno (Bendaña. 2012). Se recomienda aplicar fertilizantes altos en concentración de magnesio o calcio (Miranda, 2012).

#### **2.5.6 Control de malezas**

Se aplica herbicida post emergente (Glifosato), antes de la siembra, además se recomienda aplicar 5.7 litros de glifosato por hectárea entre las 8 am a 1 pm (Miranda, 2012).

Según Miranda (2012), el crecimiento de la planta de chíá es muy lento en su etapa de inicio de desarrollo vegetativo generando uno de los mayores problemas como es la competencia con las malezas ya que esta crece dos veces más rápido que la chíá, por lo que se recomienda lo siguiente

- Sembrar 24 hr después de aplicado el herbicida post emergente.
- A los 40 DDS se recomienda hacer un tercer control de maleza,

Las plantas de chíá alcanzan cobertura total del área aproximadamente de los 40 a los 60 días, aunque esto está en dependencia de los factores ambientales como la altura sobre el nivel del mar, temperaturas, intensidad solar y horas luz.

La chíá tiene un lento crecimiento durante los primeros 45 días después de siembra (Ayerza y Coates, 2006; Lobo et al., 2011), esta baja capacidad de cubrimiento del suelo determina que

la chía posea una baja competitividad contra las malezas por recursos como agua y nutrientes (González, citado por Arriagada 2014). Por tal motivo, el control de malezas es de vital importancia para asegurar un buen establecimiento, crecimiento, homogeneidad, y producción de materia seca y aceite (Pozo, 2010). Además, la presencia de malezas en la cosecha, aumenta las impurezas en el producto final (Orozco, 1993). Los métodos de control más usados son el manual y mecánico; se realizan dos desmalezajes 10 a 15 días después de emergencia y hasta la floración (Orozco, 1993). Cuando el cultivo alcanza gran porcentaje de cobertura, las malezas son un problema secundario (Coates, 2011). Debido a los altos costos de los métodos de control actuales, los estudios para evaluar herbicidas efectivos en chía han aumentado. En este sentido, un estudio realizado por Villegas (2013) concluye que los herbicidas Linuron y Trifluralinano provocan daños en el cultivo de chía, permite un crecimiento normal de las plantas y no se ve afectado el rendimiento en grano. Los herbicidas Metalocloro, Pendimethalin, Benzaton y Quizalofopp-ethyl afectan al cultivo, este presenta síntomas de fitotoxicidad, lo cual interfiere en el crecimiento y rendimiento final del cultivo. Un estudio de Pozo (2010), agrega que la aplicación de los herbicidas Metribuzin en pre-emergencia y Haloxyfop R metil ester en post-emergencia, tuvo buenos resultados en el control de malezas, pero el cultivo de chía resultó afectado, ya que se presenciaron muertes de plantas post aplicaciones de herbicidas.

### **2.5.7 Plagas y enfermedades**

La planta elabora un aceite el cual repela plagas enfermedades por lo cual hasta el momento no se ha encontrado ni una sola plaga tampoco enfermedad, lo cual es un cultivo resistente a plagas y enfermedades. (Ayerza y Coates, 2006) citado por Almendáriz, (2012).

Al utilizar el método de siembra al voleo se reporta más presencia de las siguientes plagas:

La babosa por los pocos espacios libres existentes en el área provocando daños mayores, razón por la cual se recomienda el uso de cebos con atrayentes para su control, limpiezas de rondas y aplicación de insecticidas granulados aplicado al voleo para el control de hormiga (Miranda, 2012).

Miranda (2012), en su experiencia en Nicaragua, el insecto más dañino para el cultivo de chía son las hormigas, porque recogen la semilla para su alimentación, se reportan daños hasta en un 60% del área sembrada en menos de 24 horas. Los insectos que dañan

foliarmente es el *Atta cephalotes*, quienes atacan las plantas durante todo su ciclo de vida, pero causan mayores daños en la etapa de plántula o inicio de su desarrollo vegetativo. Pueden provocar daños hasta en un 40% porque cortan y defolian con mucha facilidad en zonas focalizadas, su presencia es mayor por las noches.

También se han reportado daño del gusano peludo (*Estigmene acrea*), quién defolia las hojas perjudicando la fotosíntesis y desarrollo de la planta, se recomienda aplicar insecticida cuando se encuentre 2 a 3 gusanos por metro cuadrado. También encontramos a los gusanos cortadores (*Spodoptera sp*) quienes son masticadores de hojas y causan grandes daños al cultivo por su agresividad; para su control se recomienda aplicar insecticidas como Lambda Cyalotrin, Cypermetrinas entre otros (Miranda, 2012).

En zonas mayores a los 1000 msnm se han observado manchas foliares en las primeras hojas aparentando chamuscos en los bordes de las hojas y manchas oscuras en los vértices causado por el hongo (*cercospora sp*), para su control se recomienda fungicidas de acción preventiva como Mancozed y Triazoles (Miranda, 2012).

En zonas con alturas menores a 1000 msnm los productores han reportado manchas foliares en forma concéntricas en las primeras y últimas hojas afectando el área foliar; las manchas se tornan café oscuras, causando necrosis y caída de las hojas. Se recomienda realizar aplicaciones de bactericidas cúpricos asperjado en toda la planta (Miranda, 2012).

Las plagas y enfermedades en chíá no están bien documentadas, en la actualidad existen pocos reportes de plagas de importancia económica (Pozo, 2010; Kummer and Phillips, 2012). Sin embargo, Ayerza y Coates (2006), mencionan que en Argentina, Bolivia y Colombia existen antecedentes de inconvenientes con hormigas en la etapa inicial del cultivo, las cuales han debido ser controladas.

### **2.5.8 Cosecha y post cosecha**

La cosecha se lo realiza con máquina estacionaria, con máquina cosechadora combinada con cabezal de molinete. (Almendáriz, 2012).

Desde la siembra hasta la cosecha son de 120 a 130 días. El indicador de cosecha del cultivo de chíá, es cuando del 80% del follaje de cada planta presenta perdida de color tornándose color oscuro dando la apariencia de sequedad o muerte, en este momento se debe cortar al

ras del suelo. Se recomienda proteger de la lluvia los moños de la planta, y una vez secada se realiza el aporreo y tamizado de la semilla (Miranda, 2012)

La cosecha comienza cuando la planta alcanza su madurez, pierde sus hojas y el color de la planta en general vira de amarillo a café (Orozco, 1993). Generalmente las heladas o periodos de sequía extensos posterior al llenado de grano favorece el rápido desecamiento de las plantas (Ayerza y Coates, 2006). Sin embargo, Chediack (2014) menciona que en ausencia de esas condiciones ambientales la desecación de las plantas se retrasara, por lo tanto, la semilla de chíá debe ser cosechada cuando tenga entre 9 a 10% de humedad.

Para el proceso de cosecha se utiliza una trilladora mecánica estándar con cabezal modificado para mejorar el rendimiento (Kummer and Phillips, 2012), se debe elevar el molinete para que este no rompa las inflorescencias más altas y remplazar el tamiz con una pantalla fija de 3 mm (Coates y Ayerza, 1998). Luego de la cosecha, se limpia físicamente la semilla, se introduce en un tamiz con aire forzado para eliminar restos de plantas, semillas de maleza, polvo y otras impurezas (Orozco, 1993).

En sistemas menos tecnificados, la cosecha comienza cuando el 80% de cada planta presenta una tonalidad café y aspecto senescente. Una vez identificado el momento de cosecha, se cortan las plantas a nivel de suelo y se apilan sobre un plástico para que continúe el secado, finalmente se golpean las plantas sobre una malla fina para así obtener la semilla (Miranda, 2012).

### **2.5.9 Rendimientos**

Los rendimientos de semillas comerciales generalmente son 500 a 600 kg / ha. Sin embargo, algunos productores han obtenido hasta 1200 kg / ha. Las parcelas experimentales en Argentina han obtenido rendimiento de 2500 kg / ha con riego y fertilizantes nitrogenados (Coates, 2011). Sin embargo, en parcelas experimentales en el Valle de Azapa, región de Arica y Parinacota en Chile, con la implementación de un riego por goteo, se han registrado rendimientos de 2,902.7 kg/ha para el genotipo oscuro (Pizarro, 2014).

Las variaciones en el rendimiento indican la necesidad que tiene el germoplasma de adaptarse a una zona de producción, así como a las buenas prácticas de manejo, para maximizar los rendimientos comerciales (Coates, 2011). También, la fecha de siembra

influye en la producción. Los rendimientos de biomasa y semillas han sido significativamente mayores para las parcelas plantadas antes, en lugar de las plantadas después; a pesar de haber florecido al mismo tiempo. La diferencia de rendimiento se debe probablemente a las plantas más grandes que desarrollado debido a un periodo de crecimiento vegetativo más largo.

Un estudio de Ayerza y Coates (1996), muestra que productores de la zona nororiente de Argentina han obtenido desde 258 kg/ha en la localidad de Campo Quijano con una cosecha mecanizada, hasta 1,262 kg/ha en la localidad de El Carril, el rendimiento promedio de los productores de este estudio se situó en 606 kg/ha. Veinte años más tarde en la misma localidad, experimentalmente se han alcanzado rendimientos de 1,700 kg/ha y en promedio 1,400 kg/ha en ensayos relacionados con distancia entre surcos y densidades de siembra (Lobos et al., 2011). En el estado de Jalisco, México, la principal zona productora de chíca de ese país, se logran rendimientos de 1,200 kg/ha, en zonas con 450 mm de precipitación, dosis de siembra de 4 kg/ha y una fertilización de 70 kg de Nitrógeno y 46 kg de Fósforo por hectárea (Lamas, 2013).

Los rendimientos de grano registrados en Chile también son muy variables. En la zona del Valle de Azapa se han observado rendimientos de 2,285 y 2,468 kg/ha, en plantaciones sembradas el 18 de febrero y 6 marzo, respectivamente. En la localidad de Canchones, región de Tarapacá, se han observado rendimientos de 1,912 y 1,622 kg/ha para cultivos con fecha de siembra 4 de enero y 18 de enero, respectivamente. En los ensayos realizados en la localidad de Las Cruces, provincia de San Antonio, se han registraron los rendimientos más bajos, los que fluctúan entre 113 y 357 kg/ha; siendo la presencia de temperaturas bajo 5 °C durante la etapa de crecimiento reproductivo la principal causa (Baginsky et al., 2014).

## **2.6 NUTRICIÓN MINERAL**

Según Azabache (2003), la nutrición vegetal es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que lo rodea, las sustancias que le son necesarias para llevar a cabo su metabolismo. El carbono, hidrogeno, oxigeno nitrógeno, fosforo y azufre son los elementos que componen las proteínas, y por lo tanto el protoplasma. Además de estos seis, existen catorce elementos que son necesarios para el crecimiento de algunas plantas: calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, cinc, cloro, sodio, cobalto,

vanadio y sílice. No todos son requeridos por todas las plantas, pero todos se han demostrado esenciales para algunas. Cada uno de los veinte juega un papel en el crecimiento y desarrollo de las plantas y cuando están presentes en cantidades insuficientes pueden reducir el crecimiento o los rendimientos (Tisdale y Nelson, 1991).

### **2.6.1 Nitrógeno**

Es importante en la nutrición de la planta. Este elemento puede ser absorbido por la mayoría de las plantas (excepto leguminosas), debe estar en forma diferente que la del nitrógeno elementas. Es asimilado como iones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Tisdale y Nelson, 1991). La diferencia entre la absorción de ambas formas se debe principalmente a su sensibilidad al pH. La mayor absorción de  $\text{N-NH}_4^+$ , tiene lugar en un medio neutro y se deprime cuando se disminuye el pH. Lo contrario sucede para la absorción de  $\text{N-NO}_3^-$ , ocurriendo una absorción más rápida a valores bajo de pH, esto se debe al efecto competitivo de los iones  $\text{OH}^-$  que suprimen el sistema de transporte de la absorción del  $\text{NO}_3^-$  (Mengel y Kirkby, 2000). La úrea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) puede ser también absorbida por las plantas. En los suelos calientes, bien aireados, ligeramente ácidos o ligeramente alcalinos, predomina la forma de nitrato (Tisdale y Nelson, 1991). Fassbender (1978), señala que el nitrógeno del suelo está bastante ligado a la materia orgánica y al material mineral, el N orgánico presenta entre el 85 y 95 por ciento del total de N del suelo, mientras que el N inorgánico está presente hasta el 2 por ciento del N total del suelo.

El nitrógeno puede entrar y salir del sistema suelo – planta por más rutas que cualquier otro nutriente. El N está sujeto vía  $\text{NH}_3$ , volatilización, desnitrificación, lixiviación y pueden ser aumentada por la lluvia y la fijación biológica. Esos intercambios son procesos importantes en el ciclo del nitrógeno y operan tanto en condiciones naturales como en cultivo, también en situaciones pequeñas. En contraste a la mayoría de otros nutrientes vegetales, no existe ningún mecanismo para el almacenamiento prolongado de N disponible para las plantas en los suelos (Stevenson, 1982).

Los nitritos son generalmente toxico para las plantas, pero afortunadamente no se acumulan bajo las condiciones naturales del suelo (Tisdale y Nelson, 1991).

La materia seca vegetal contiene alrededor 0,4 a 4 por ciento, señalando que la variación en la concentración está en función de varios factores como: especie, variedad y/o cultivar,

órgano y edad de la planta (Chapman, 1979). Mengel y Kirkby, (2000), sostienen que el contenido de nitrógeno en la materia seca de las plantas va del 2 al 4 por ciento.

El nitrógeno participa en la formación de proteínas y es parte integral de la molécula de clorofila. Un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. En excesivas concentraciones pueden, bajo ciertas condiciones, prolongar el periodo de crecimiento y retrasar la madurez (Tisdale y Nelson, 1991).

Malavolta et al. (1989), indica que el papel del nitrógeno en la forma y calidad de la cosecha está dado por la formación y desarrollo de las yemas floríferas y fructíferas, por un mayor crecimiento vegetativo y por el aumento en el contenido de proteínas de la parte cosechada. Por tal, es fundamental para obtener unos mayores rendimientos y es la base del abonamiento para los cultivos (Gros, 1981).

La deficiencia de nitrógeno se caracteriza por hojas pequeñas, los primeros síntomas aparecen como un color verde pálido en las hojas, seguido por un verde amarillento, luego un amarillo verdoso y finalmente un amarillo uniforme, cuando la deficiencia es aguda (Mengel y Kirkby, 2000). La clorosis aparece primero en las hojas inferiores, en caso de deficiencia severa, las hojas se vuelven marrones y mueren (Tisdale y Nelson, 1991). La clorosis es el síntoma más característico de la deficiencia de nitrógeno y debido a la gran movilidad de este elemento, esta aparece primero en las hojas viejas (Barcello et al., 1988). Las hojas jóvenes permanecen verdes por más tiempo, ya que reciben formas solubles de nitrógeno provenientes de las hojas más antiguas. En caso de deficiencia extrema todas las hojas aparecen amarillentas y luego se quemar a medida que mueren (Salisbury y Ross, 1994).

### **2.6.2 Fósforo**

Siendo el fósforo un elemento mayor, se encuentra en menores cantidades que el nitrógeno y potasio. Es absorbido en forma del ion primario ortofosfato  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y pequeñas cantidades del ion secundario ortofosfato  $\text{HPO}_4^{2-}$  son absorbidas. La absorción de estos dos iones se ve afectados por el pH del medio que rodea a las raíces. Valores bajos de pH incrementan la absorción del ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , mientras los valores más altos del pH incrementan la absorción de la forma  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Otras formas del fósforo, como los pirofosfatos y los metafosfatos, ambas formas iónicas se encuentran en ciertos fertilizantes fosfóricos (Tisdale y Nelson, 1991).

El fósforo (P) total en los suelos va desde 0.03 a 0.3 por ciento, mientras que en materia seca fluctúa entre 0.03 y 0.3 por ciento, en semillas los valores llegan al 1.5 por ciento (Chapman y Pratt, 1973).

Se ha reconocido al fósforo como constituyente del ácido nucleico, fitina y fosfolípidos (Tisdale y Nelson, 1991). Acelera la formación de raíces, incrementa la fructificación, interviene en la maduración de los frutos e incrementa el contenido de carbohidratos, grasas y proteínas en los tejidos, teniendo una función similar al magnesio y el azufre (Malavolta et al., 1989).

Un adecuado suministro en las primeras etapas de la vida de la planta es importante en el retraso del crecimiento de las partes reproductivas. También se ha asociado a la pronta madurez, particularmente los cereales. Se le considera esencial en la formación de semillas. Por otro lado, un buen suministro de fósforo ha sido asociado con un incremento del crecimiento de las raíces (Tisdale y Nelson, 1991). Además, Baeyens (1970), afirma que el P es indispensable para la elaboración de hidratos de carbono (almidón), grasas (lecitinas), y de albuminas (nucleoproteínas).

Los primeros síntomas de deficiencia de fósforo en las plantas se presentan como una coloración verde oscura o verde azulada de las hojas, y aparece primero en las hojas maduras por su gran movilidad en el interior de la planta; hay reducción de crecimiento y cuando hay una deficiencia grave, las plantas se achaparran (Barcello et al., 1988). También no se sintetizan proteínas, se inhibe la síntesis de RNA, no se establece el equilibrio adecuado entre azúcares y almidón (Azabache, 2003). Y además se produce la acumulación en las plantas, de compuestos que contienen nitrógeno (Rabe, 1990) citado por Azabache (2003).

### **2.6.3 Potasio**

Este elemento mayor es absorbido como ion  $K^+$  y se encuentra en los suelos en cantidades variables, pero la planta lo asimila en cantidades pequeñas. El fertilizante potásico es añadido a los suelos en forma de sales solubles tales como cloruro de potasio, sulfato potásico, nitrato potásico y sulfato potásico magnésico crecimiento (Tisdale y Nelson, 1991).

El potasio en los suelos se encuentra en cuatro formas: como componente estructural de los minerales primarios (micas y feldspatos de potasio); potasio que está atrapado temporalmente

en las arcillas expandibles (illita y montmorillonita); potasio intercambiable sostenido por los coloides del suelo cargados negativamente, y una pequeña cantidad de K soluble presente en la solución del suelo (Bidwell, 1979).

El potasio es un elemento móvil que se traslada a los jóvenes tejidos meristemáticos cuando ocurre una deficiencia. El potasio no forma una parte integral de los componentes de la planta, su función es más bien de naturaleza catalítica, a pesar de esto, es imprescindible para algunas funciones fisiológicas como: metabolismo de los hidratos de carbono, metabolismo del nitrógeno, activación de varias enzimas, promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos, entre otros (Tisdale y Nelson, 1991). Además, aumenta la eficiencia en el uso del agua por la planta y aumenta la resistencia a sequías, plagas y enfermedades (Malavolta et al., 1989).

La deficiencia de potasio no resulta inmediatamente en síntomas visibles. Primero hay solo una reducción en la tasa de crecimiento (hambre oculta), y solo posteriormente se presenta clorosis y necrosis (Tisdale y Nelson, 1991). Según Barcello (1980), se manifiesta como un moteado de manchas cloróticas seguida de zonas necróticas en la punta y bordes de las hojas, mostrándose primero en las hojas maduras, acortamiento de los entrenudos y en condiciones extremas las yemas terminales y laterales mueren. Las plantas con deficiencia de K muestran una disminución en turgencia, y bajo condiciones de falta de agua fácilmente se hacen flácidas. La resistencia a la sequía es por lo tanto pobre y las plantas afectadas muestran incrementos en la susceptibilidad al daño por heladas, ataque de hongos y condiciones salinas (Azabache, 2003). Así también se asocia con una disminución de la resistencia de la planta a las enfermedades. También la fotosíntesis decrece con una insuficiencia de potasio (Tisdale y Nelson, 1991).

#### **2.6.4 Magnesio**

El magnesio es absorbido en la forma del ión  $Mg^{2+}$  y es único constituyente mineral de la molécula de clorofila y se halla localizado en su centro tal como se describe al hablar del nitrógeno. La importancia del magnesio es evidente, ya que la ausencia de clorofila impediría a las plantas verdes autótrofas llevar a cabo la fotosíntesis. Parece estar relacionado con el metabolismo del fósforo y es considerado como específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos de las plantas (Tisdale y Nelson, 1991). Debido a su movilidad en el

floema, puede ser transportado fácilmente de las partes viejas a las jóvenes y sus síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas viejas como clorosis intervenal (Azabache, 2003).

El magnesio actúa como complemento en todas las enzimas que activan el proceso de fosforilación mediante la formación de un enlace entre la estructura de pirofosfato de ADP o ATP y la molécula de la enzima. Este elemento se acumula en los frutos y órganos de reserva (Tisdale y Nelson, 1991).

Las especies de plantas y variedades difieren en sus requerimientos de Mg. Los pastos, el maíz, la papa, la palma aceitera, el algodón, los cítricos, el tabaco y la remolacha azucarera tienen alta respuesta al Mg (Azabache, 2003).

Las deficiencias en magnesio aparecen a menudo en las hojas más bajas. En muchas especies su deficiencia se presenta como una clorosis en los nervios de la hoja, en la cual, los nervios permanecen verdes. En estado más avanzado el tejido de la hoja se vuelve uniformemente amarillo pálido, luego marrón y necrótico. En otras especies, como en algodón, las hojas inferiores pueden tomar una coloración rojiza púrpura con gradual coloración marrón y necrosis final (Tisdale y Nelson, 1991).

### **2.6.5 Azufre**

El azufre es absorbido por las raíces de las plantas casi exclusivamente como ion sulfato,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Pequeñas cantidades de  $\text{SO}_2$  pueden ser absorbidas a través de las hojas, pero concentraciones altas son tóxicas. La concentración típica de S en las plantas va de 1 a 4 ppm. La mayor parte del  $\text{SO}_4^{2-}$  en la planta es reducido a formas  $-\text{S}-\text{S}$  y  $-\text{SH}$  (Azabache, 2003).

El azufre en forma de sulfato en grandes cantidades puede también ser retenido en los tejidos y en los líquidos celulares sin que se observen daños. Se encuentra en cantidades iguales o inferiores que el fósforo en plantas tales como el trigo, maíz, soja y papa, pero en mayores cantidades en alfalfa, coles y nabos (Tisdale y Nelson, 1991).

El S es requerido en la síntesis de cistina, cisteína y metionina, aminoácidos conteniendo S, y que son componentes esenciales de proteínas. Aproximadamente el 90% del S en las plantas se encuentra en estos aminoácidos. Una de las principales funciones del S en las

proteínas es la formación de enlaces disulfuro entre canales polipéptidos. (Azabache, 2003). Además, es un constituyente de ciertas vitaminas, de coenzimas A, y del glutatión. Está presente en los aceites de la familia de la mostaza y cebollas e incrementa el aceite en los cultivos de lino y soja (Tisdale y Nelson, 1991).

Las deficiencias de azufre retardan el crecimiento de la planta, se caracteriza por plantas uniformemente cloróticas, canijas y de troncos delgados. El azufre no se traslada fácilmente de las hojas viejas a las hojas jóvenes de la planta. Por otro lado, puede causar una acumulación de nitrógeno no proteínico en las plantas, el cual puede perjudicar a los rumiantes si no es corregido con suplementos alimenticios en azufre (Tisdale y Nelson, 1991).

### 2.6.6 Microelementos

Los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo (FAO, 2002).

**Cobre** es absorbido por las plantas en forma de ion cúprico  $\text{Cu}^{2+}$ , y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico tal como el EDTA. El cobre se encuentra en el suelo como  $\text{Cu}^{2+}$  adsorbido por los barros minerales, y como parte ligada con material orgánico. Las sales de cobre son absorbidas a través de las hojas. La proporción del contenido en cobre de la litosfera es aprox. 100 ppm, mientras que en los suelos esta descrito un orden de entre 2 a 100 ppm (Tisdale, 1991).

Según Tisdale y Nelson (1991), los factores que influyen en la disponibilidad del cobre, son los siguientes:

- Materia orgánica, como regla general, la retención del cobre en el suelo aumenta con un incremento en el contenido de materia orgánica. Es máxima en turbas y estiércoles. Cuando se aplica el cobre a tales suelos es retenido generalmente en la zona de colocación.
- pH del suelo, ha sido demostrado que la acidez del suelo influencia en la disponibilidad del cobre, esto debido que en los estudios de Peech se observó que la cantidad de cobre

intercambiable disminuía a medida que aumentaba el pH, aunque otros estudios realizados en Kentucky no encontraron dicha relación, pero si observaron que mientras aumentaba las concentraciones de aluminio, disminuía el consumo del cobre.

- Iones metálicos, el consumo de cobre por las plantas está relacionado con la concentración de aluminio en el medio que rodea a las raíces.

El cobre cumple un papel importante en la fisiología de la planta, pues intervienen ciertas reacciones de óxido – reducción y en particular en las oxidaciones finales. Es un constituyente de numerosas enzimas. Interviene en la fotosíntesis, en el metabolismo de las paredes celulares, en la fijación del nitrógeno y en la degradación de proteínas (Loué, 1988).

Ante una deficiencia de cobre, en plantas de maíz, las hojas jóvenes se vuelven amarillas y canijas, y si es más grave, las hojas jóvenes palidecen y las viejas mueren. En plantas de grano les hacen perder color en las jóvenes que eventualmente pueden romperse, y los brotes mueren. En muchos cultivos de hortalizas las hojas pierden turgencia. Presentan una coloración verde azulada, se vuelven cloróticas, se enrollan y no aparece la producción de flores (Tisdale y Nelson, 1991).

**Manganeso** es absorbido por las plantas en forma de ion manganeso,  $Mn^{2+}$  y en combinación molecular con ciertos complejos orgánicos tales como el EDTA. En el suelo se considera generalmente que existe en tres estados de valencia: 1) manganeso divalente  $Mn^{2+}$ , que se halla presente como un catión adsorbido o en la solución del suelo; 2) manganeso trivalente, que se supone que existe como un óxido altamente reactivo,  $Mn_2O_3$ ; 3) manganeso tetravalente,  $Mn^{4+}$ , que existe como el óxido, que es muy inerte,  $MnO_2$  (Tisdale y Nelson, 1991). Las concentraciones de manganeso en la planta varían mucho según el grado de disponibilidad del mismo en el suelo. Por lo general, las concentraciones promedio de manganeso en las plantas fluctúa entre 20 y 400 ppm (Thompson y Troeh, 1980). Puede ser absorbido directamente a través de las hojas. Como el hierro, el manganeso es un elemento relativamente inmóvil. Es requerido por las plantas en pequeñas cantidades (Tisdale y Nelson, 1991).

La presencia de una considerable materia orgánica frecuentemente da como resultado que aparezca síntomas de deficiencia a valores bajos de pH más que en suelos con un bajo contenido en humus (Tisdale y Nelson, 1991).

El manganeso tiene funciones de activación de numerosas enzimas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, reacciones de fosforilación y cíclico del ácido cíclico, y conjuntamente con otros metales en la activación de enzimas tales como arginasa, cisteína sulfhidrasa, desoxido de nucleasa y fosfatasa. Evidentemente es un activador específico de las enzimas prolidasa y glutamil transferasa. También actúa en procesos fotoquímicos (Tisdale y Nelson, 1991).

Las plantas deficientes en manganeso son susceptibles al daño por heladas. Produce caída de granos y posterior rendimiento del grano (Buntje citado por Marschner, 1996) en varios cultivos han sido descritas bajo nombres tales como mancha gris de la avena, mancha lagunar de los guisantes, y moteado amarillo de la remolacha azucarera.

**Hierro** es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas. También es absorbida por las hojas cuando se aplican pulverizaciones foliares. Aunque el ion férrico puede ser absorbido por las plantas, la forma activa metabólicamente parece ser el ion ferroso. Los tejidos de las plantas que contienen grandes cantidades de hierro férrico pueden presentar síntomas de deficiencia de hierro. Su contenido total en los suelos es variable y oscila desde 20 ppm hasta más del 10 por ciento (Tisdale y Nelson, 1991).

Las deficiencias en hierro son pronunciadas en algunos suelos calcáreos, y, en algunos casos, un alto nivel de fósforo del suelo ha sido relacionado a la clorosis férrica. Se cree que la clorosis férrica es causada por un desequilibrio de iones metálicos, tales como el cobre y manganeso, excesivas cantidades de fósforo en los suelos, una combinación de alto pH, alta proporción de cal, elevada humedad del suelo, temperaturas frías, y altos niveles de  $\text{HCO}_3^-$  en el medio que rodea a las raíces (Tisdale y Nelson, 1991).

En suelos muy húmedos, el oxígeno es desplazado, en esta condición los compuestos del hierro férrico serán reducidos en forma ferroso.

Las deficiencias de hierro se muestran primero en las hojas jóvenes de las plantas. No parece haber traslación de los viejos tejidos a la punta de los meristemas, como resultado cesa el crecimiento (Tisdale y Nelson, 1991). Produce una clorosis internerval sólo en hojas jóvenes, luego se presenta una clorosis tranerval y toda la hoja se torna de color amarilla. En caso severos las hojas llegan a ser blancas con lesiones necróticas (Barcello, 1980).

**Molibdeno** es un componente sustancial de las fórmulas de fertilización. El molibdeno es absorbido probablemente por las raíces de las plantas en formas de ion  $\text{MoO}_4^{2-}$ , y se requiere por las plantas solo en pequeñas cantidades. En el suelo están en cantidades reducidas. Se ha mostrado que en los suelos. En los suelos el contenido de molibdeno varia de 0.24 a 4.45 tan solo podría ser extraídas de 0.05 a 0.24 ppm. Su disponibilidad aumenta con el pH del suelo (Tisdale y Nelson, 1991).

Sus reacciones en el suelo no son bien conocidas. Se han sugerido que este elemento puede estar presente como; 1) una parte del retículo cristalino de los minerales primarios y secundarios, cuya forma no es disponible para las plantas, 2) como  $\text{MoO}_4^{2-}$  absorbido, el cual es retenido por los barros y es disponible para las plantas, 3) como una parte de la materia orgánica del suelo, 4) como compuesto de molibdeno hidrosolubles (Tisdale y Nelson, 1991).

El molibdeno determina la eficiencia de absorción de elementos como nitrógeno y posiblemente de fierro y fosforo (Tisdale y Nelson, 1991). Es importante por que interviene en la reducción del nitrato a nitrito a través de la enzima nitrato reductasa. Participa en la fijación simbiótica y asimbiótica del nitrógeno, pues forma parte de la enzima nitrogenasa, que cataliza el paso del nitrógeno atmosférico a amoniaco en las bacterias (Barcello, 1980).

Las deficiencias del molibdeno se difieren de acuerdo a los cultivos, pero como regla se observan primero como una clorosis intermerval. Las leguminosas generalmente se vuelven amarillo pálido y canijas, característica de una deficiencia de nitrógeno. Esto es, en efecto, lo que ocurre, ya que el molibdeno se requiere por las rizobias para la fijación del nitrógeno. Tiene efectos adversos en la síntesis de aminoácidos y proteínas. También interviene en acumulación de nitratos y en un evidente descenso de la actividad de la oxidasa del ácido ascórbico (Tisdale y Nelson, 1991). Los cultivos más afectados por su deficiencia son las leguminosas y frutales porque ya no se permitiría la fijación del nitrógeno atmosférico (Barcello, 1980).

**Boro** es absorbido en una o más de sus formas iónicas, tales como  $\text{B}_4\text{O}_7^-$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ,  $\text{HBO}_3^{2-}$ , o  $\text{BO}_3^{3-}$ . la mayoría de suelos se encuentra en cantidades extremadamente pequeñas, oscilando generalmente desde aprox. 20 a 200 ppm. La mayor parte del boro disponible del suelo es suministrado por la fracción orgánica, ósea cuando se descompone la materia orgánica es

liberado el boro para ser tomado por las plantas una parte, mientras que la otra se pierde por filtración (Tisdale y Nelson, 1991).

Tisdale y Nelson (1991), menciona que el movimiento del boro en el suelo está asociado a los siguientes factores:

- Textura de suelo: los suelos de textura gruesa, bien drenados y arenosos, son pobres en boro. Estudios sobre la filtración han mostrado que el boro añadido a los suelos permanece soluble y puede desplazarse de las capas superiores. Los suelos de textura fina tienden a retener el boro añadido durante periodos de tiempo más largos. Por lo tanto, las proporciones de boro fertilizante hidrosoluble aplicado deberían ser menores en suelos arenosos de textura gruesa que en suelos de textura fina para el mismo grado de consumo probable de boro por las plantas.
- El pH del suelo: factor importante que influencia la disponibilidad de boro en el suelo. La relación entre el pH, calcio disponible y el estado de boro de un suelo no es bien conocida, pero se sabe que los síntomas de deficiencia en boro están asociados a altos valores de pH, además, los efectos nocivos de una sobreadición de cal, produce una relación desfavorable entre el calcio: boro en la planta.
- Humedad del suelo: la deficiencia de boro de muchos cultivos es acelerada bajo condiciones de extrema sequedad. Ello está posiblemente relacionado a la proporción de descomposición de la materia orgánica; puede ser también relacionado a la proporción de proliferación de las raíces en el suelo, que generalmente son reducidas en condiciones de extrema sequedad.

El boro es relativamente inmóvil en las plantas y generalmente su contenido se incrementa de las partes inferiores a las superiores de la planta (Mengel y Kirkby, 1978).

El boro es importante en los procesos de división, diferenciación, respiración y desarrollo celular (Barcello, 1980). Además, probablemente participa en el transporte de glúcidos en las plantas (Devlin, 1976).

Los síntomas de la deficiencia de boro se presentan en las partes jóvenes de la planta. Las hojas primerizas presentan a menudo deformaciones (Barcello, 1980), debido a un mal desarrollo del tejido meristemático, también a nivel de las extremidades de las raicillas, así como de los brotes, originado por las dificultades que se presentan en la división celular y en el desarrollo

(Devlin, 1976; Loué, 1988; Mengel y Kirkby, 1978). En casos severos las hojas permanecen pequeñas y con manchas necróticas entre nervaduras y bordes (Barcello, 1988).

## **2.7 ABSORCIÓN DE NUTRIENTES**

Las plantas adquieren sus nutrientes a través de las hojas y de las raíces. El CO<sub>2</sub> es absorbido a través de los estomas, y es la fuente principal de carbono y oxígeno. El agua y los restantes elementos químicos que generalmente se incorporan a través de las raíces, pueden ser absorbido por las hojas. Las aplicaciones vía foliar pueden ser utilizadas cuando surge la deficiencia y requieren ser subsanadas de forma inmediata. Sin embargo, la absorción de los elementos nutritivos por las plantas se efectúa mayoritariamente por medio de las raíces jóvenes, a nivel de los pelos radiculares; aparte de la función absorbente, segregan sustancias dotadas de cierto carácter ácido que les permite solubilizar, en parte, compuestos difícilmente solubles como fosfatos, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso (Navarro, 2003).

### **2.7.1 Factores que afectan la absorción de nutrientes**

Un amplio número de factores influye en la absorción de los elementos nutrientes por la planta, los cuales están íntimamente relacionados entre sí, por lo cual es difícil concretar la verdadera influencia de cada uno por separado (Navarro, 2003).

Estos factores pueden clasificarse en tres grupos, según su relación con el suelo, clima, planta e interacciones iónicas.

#### **Condiciones del suelo**

Según Baldwin (1975), menciona que un equilibrio entre la extracción de nutrientes para un rendimiento óptimo del cultivo y la capacidad del suelo para abastecer dichos nutrientes mantendrá la productividad del suelo.

Los suelos de textura fina presentaran mayores posibilidades de contacto con los pelos absorbentes que los de textura gruesa. Además, de una mayor facilidad de actuación de los agentes de alteración con liberación de nutrientes asimilables a la disolución del suelo o al complejo adsorbente coloidal (Navarro, 2003).

El porcentaje de oxígeno en el aire del suelo es importante debido a que la adsorción mineral se inhibe por la ausencia del oxígeno en el suelo. En general, las raíces no empiezan a reducir su absorción hasta valores inferiores del 10 por ciento de oxígeno en el medio (Navarro, 2003).

El pH del suelo afecta generalmente a la absorción por su influencia en el estado de asimilación del nutriente o en la cantidad del mismo disponible. El bloqueo se produce a determinados valores de pH, en los que el elemento debido a sus características físico-químicas se transforman en inasimilable al pasar a formar parte de un compuesto insoluble. Este es el caso del hierro, manganeso y cobre, los cuales a pH básico precipitan, originando hidróxidos insolubles (Navarro, 2003).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), propiedad química relacionada con la disponibilidad de nutrientes, la misma que depende de la fracción coloidal del suelo, a mayor fracción coloidal (arcilla, humus, sesquióxidos) el suelo tendrá mayor CIC y por ende mayor disponibilidad de nutrientes (Fassbender, 1978).

### **Factores climáticos**

En general, dentro de los límites fisiológicos (0-40°C), un aumento de la temperatura provoca una mayor absorción de iones. Ello puede atribuirse, entre otras causas, a que la disolución del suelo tiende a estar más concentrada, sin embargo, cuando superan los 40 °C, la absorción de va paralizando, debido posiblemente a la deshidratación de las enzimas que intervienen directamente en el proceso; mientras que las temperaturas bajas, por el contrario, aparte de provocar una disminución en la solubilidad de los componentes de la disolución del suelo, dificultan muchas reacciones bioquímicas que intervienen en el transporte de los nutrientes hacia el interior de las plantas (Navarro, 2003).

La absorción de nutrientes también incrementa dentro de unos límites de humedad del suelo, ya que el agua es requerida por la planta para la producción de glúcidos. Estos procesos tienden a reducirse al disminuir la humedad del suelo, y ello explica, aparte de la lixiviación, el mayor agotamiento de las reservas del suelo en climas húmedos (Navarro, 2003).

La luz constituye un regulador de la absorción de iones en los organismos fotosintetizadores, siendo anulada y aun con excreción de nutrientes cuando se presentan condiciones extremas de deficiencia después de un buen abastecimiento (Crocomo, 1965; Baker, 1980).

## **Factores intrínsecos de la planta**

De acuerdo a la naturaleza de las plantas, estas difieren unas de otras en su poder de absorción. Plantas distintas cultivadas en un mismo suelo pueden tener una alimentación mineral diferente, tanto bajo el punto de vista cualitativo como cuantitativo; e incluso variedades distintas de una misma especie no actúa del mismo modo (Navarro, 2003).

Por otro lado, la fase de desarrollo influye en la absorción de nutrientes. Las plantas jóvenes absorben rápida e intensamente los elementos minerales. Su proporción, referida a materia seca, es entonces máxima, después disminuye, aunque la absorción prosigue durante el crecimiento, debido a predominio creciente de los glúcidos que se van sintetizando (Navarro, 2003).

Devlin (1976), manifiesta que, con el aumento de crecimiento, así como de los procesos fotosíntesis y mayor actividad metabólica, se incrementa la absorción de nutrientes, tanto por el aumento del número de células como por el aumento de síntesis de carbohidratos y moléculas transportadoras, así como por la mayor superficie radicular de las plantas.

## **Interacción iónica**

Los elementos nutritivos en estado de iones pueden ejercer unos sobre otras acciones que conducen a reducir o aumentar su absorción por la planta, mediante mecanismos no totalmente establecidos, de naturaleza físico-química, química o biológica. Estas interacciones se conocen como antagonismo y sinergismo (Navarro, 2003).

Se dice que hay antagonismo entre dos iones A y B cuando manteniéndose constante A, el otro B tiende a inhibir la absorción del primero si su concentración aumenta en el medio. Los principales antagonismos que se presentan en la nutrición de las plantas cultivadas se observan entre sodio/calcio, potasio/calcio, potasio/magnesio y calcio/magnesio (Navarro, 2003). Otros casos de antagonismo tenemos el exceso de fósforo induce la deficiencia de Zn (Adriano et al, 1971), ya sea la formación de suelo con la posible formación de  $Zn_3(PO_4)_2$ , en la interferencia a la translocación de Zn desde la raíz hasta la parte aérea, o por un efecto de dilución debido a una gran respuesta de acumulación de materia seca por adición de P al suelo deficiente que provoca una alta relación P/Zn en la parte aérea (Moraghan, 1985). Otro caso por ejemplo es el cobre en grandes cantidades es tóxico para las plantas. Excesivas cantidades

de cobre deprimen la actividad del hierro y pueden ocasionar síntomas de deficiencia de hierro, que aparecen en las plantas (Tisdale y Nelson, 1991).

Por otro lado, se dice que hay sinergismo cuando la acción excitante que produce un elemento A sobre la absorción de otro B, contribuyen ambos a favorecer o aumentar el desarrollo de la planta (Navarro, 2003).

## **2.8 EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES**

Los problemas nutricionales se pueden diagnosticar mediante el análisis de suelo y el análisis foliar (Instituto de la Potasa y el Fosforo, 1993). El uso de técnicas trazadoras utilizando isotopos radiactivos y estables de los nutrientes minerales, permiten determinar cuantitativamente los requerimientos nutricionales y medir las concentraciones de la fracción de elementos provenientes del fertilizante (L'annunziata, 1979; IAEA-FAO, 1976). Moraghan (1985), señala que la teoría para el uso de análisis foliar se fundamenta en la relación entre la concentración de nutrientes del medio de absorción y el nivel del elemento en la planta; sin embargo, existe variabilidad de resultados debido a las metodologías de análisis, edad, órgano, época de muestreo, etc. Por lo que los resultados deben ser calibrados con experimentos de campo (López y López, 1978).

La extracción de nutrientes por la cosecha varía principalmente con el rendimiento obtenido, la fertilidad del suelo y la especie o variedad. La extracción total en la cosecha, ya sea del producto comercial o los residuos de la cosecha, son un índice valioso para reponer al suelo parte de sus nutrientes removidos; considerando otras vías de pérdidas de nutrientes como: la lixiviación, erosión, volatilización, entre otros, para evitar el empobrecimiento del recurso suelo (Demolón, 1966).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se especifican los aspectos determinantes en el desarrollo de la parte experimental del presente estudio:

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fertilidad del Suelo “Sven Villagarcía”, sito en el campus de la Universidad Nacional Agraria –La Molina, ubicado en el Distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima, Perú. Geográficamente, su ubicación corresponde a:

- Latitud: 12° 05’ 16” S.
- Longitud: 76° 57’ 00” W.
- Altitud: 247 m.s.n.m.

#### 3.2 DATOS CLIMATOLÓGICOS

La información meteorológica fue obtenida de la estación meteorológica “Alexander Von Humboldt” que se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del campus de La Universidad Nacional Agraria La Molina.

**Cuadro 1: Características meteorológicas para el año 2014**

| <b>Variables meteorológicas</b> | <b>Mayo</b> | <b>Junio</b> | <b>Julio</b> |
|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Temperatura promedio (°C)       | 19.8        | 19           | 16.2         |
| Humedad Relativa Promedio (%)   | 85          | 85           | 90           |

Fuente: Estación meteorológica “Alexander Von Humboldt” - UNALM

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Se utilizó arena de río proveniente de Cieneguilla, al cual se le realizó un análisis físico – químico. Los resultados presentados en el Cuadro 2, indicaron que el sustrato es de textura arenosa, de baja concentración salina, además de presentar bajos niveles de fósforo y potasio disponible. Los tipos de método de análisis que se realizaron para característica, son las siguientes: Clase textural, método de Hidrómetro de Bouyoucos; Ph, Potenciómetro; conductividad eléctrica, Conductímetro, CaCO<sub>3</sub>, Método Gaso-Volumétrico; M.O, Método de Walkley y Black; P, Método Olsen Modificado; K, Extracto de acetato de amonio; CIC, Acetato de amonio; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>, Espectrofotometría de absorción atómica.

**Cuadro 2: Análisis físico – químico del suelo en estudio**

| Características            | Valor | Interpretación            |
|----------------------------|-------|---------------------------|
| Clase textura              | A     | Arena                     |
| Arena (%)                  | 93    |                           |
| Limo (%)                   | 6     |                           |
| Arcilla (%)                | 1     |                           |
| pH (1:1)                   | 7.66  | Ligeramente alcalino      |
| C.E (1:1) dS/m             | 0.56  | Bajo (Ligeramente salino) |
| CaCO <sub>3</sub> (%)      | 0.3   | Bajo                      |
| M. O (%)                   | 0.14  | Bajo                      |
| P (ppm)                    | 3.1   | Bajo                      |
| K (ppm)                    | 91    | Bajo                      |
| CIC                        | 4.8   | Bajo                      |
| Ca <sup>2+</sup> (cmol/kg) | 3.66  | Medio                     |
| Mg <sup>2+</sup> (cmol/kg) | 0.8   | Medio                     |
| K <sup>+</sup> (cmol/kg)   | 0.18  | Bajo                      |
| Na <sup>+</sup> (cmol/kg)  | 0.17  | Bajo                      |

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

Para el experimento se utilizó agua pozo procedente de Huachipa, al cual se le realizó un análisis físico – químico. Los resultados presentados en el Cuadro 3, indican que el pH es ligeramente alcalino, su RAS indica que no hay restricción en su uso como agua de riego.

**Cuadro 3: Características químicas del agua de riego utilizado en el experimento**

| <b>Características</b> | <b>Valor</b> |
|------------------------|--------------|
| pH (1:1)               | 8.15         |
| C.E (dS/m)             | 0.54         |
| Calcio (meq/L)         | 4.71         |
| Magnesio (meq/L)       | 0.75         |
| Potasio (meq/L)        | 0.1          |
| Sodio (meq/L)          | 0.7          |
| SUMA DE CATIONES       | 6.26         |
| Nitratos (meq/L)       | 0.02         |
| Carbonatos(meq/L)      | 0.06         |
| Bicarbonatos (meq/L)   | 2.18         |
| Sulfatos (meq/L)       | 1.24         |
| Cloruros (meq/L)       | 2.7          |
| SUMA DE ANIONES        | 6.2          |
| Sodio (%)              | 11.18        |
| RAS                    | 0.42         |
| Boro (ppm)             | 0.23         |
| Clasificación          | C2-S1        |
| Cobre (ppm)            | 0.02         |
| Zinc (ppm)             | 0.111        |
| Manganeso (ppm)        | 0.017        |
| Hierro (ppm)           | 0.015        |

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM

### **3.5 SEMILLA**

En el experimento se utilizaron las semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) de genotipo tzotzol (mezcla de clusas blancas y negras) obtenidas del Programa de Leguminosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **3.6 MATERIALES Y EQUIPOS**

Los materiales empleados en el experimento correspondieron a:

- Macetas de plástico y platos base.
- Arena de río.
- Semilla de chía.
- Mesas de invernadero.
- Bolsas de papel kraft.
- Cinta masking tape.
- Libreta de campo.
- Balanza de precisión.
- Cámara fotográfica.
- Estufa.
- Molino.

### **3.7 FERTILIZANTES EMPLEADOS**

Los fertilizantes inorgánicos empleados en el experimento fueron los siguientes:

- Nitrato de amonio
- Superfosfato triple de calcio
- Cloruro de potasio
- Cloruro de magnesio
- Sulfato de calcio
- Cloruro de cobre

- Cloruro de manganeso
- Quelato EDDHA de hierro
- Molibdato de amonio
- Bórax.

### 3.8 METODOLOGÍA

#### 3.8.1 Tratamientos

Se consideraron 8 tratamientos para el experimento. Estos se establecieron conforme a fertilizaciones idealizadas de: N-P-K, más magnesio, azufre y microelementos (Cu, Mn, Fe, B y Mo), en dosis constantes. Los tratamientos empleados correspondieron a 7 combinaciones diferentes, más 1 tratamiento testigo. La aplicación con el total de la dosis idealizada correspondió al tratamiento 8, mientras que el tratamiento testigo (con cero fertilizaciones) al tratamiento 7. Los otros 6 tratamientos sufrieron la ausencia de alguno de los elementos de la dosis completa (tratamientos 1 al 6). El bosquejo resumido de la conformación de los tratamientos puede ser observados en el Cuadro 4.

**Cuadro 4: Descripción de los tratamientos del experimento**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Rotulación</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Repeticiones</b> |
|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| T <sub>1</sub>     | -N                | Sin Nitrógeno       | 4                   |
| T <sub>2</sub>     | -P                | Sin Fosforo         | 4                   |
| T <sub>3</sub>     | -K                | Sin Potasio         | 4                   |
| T <sub>4</sub>     | -Mg               | Sin Magnesio        | 4                   |
| T <sub>5</sub>     | -S                | Sin Azufre          | 4                   |
| T <sub>6</sub>     | -ME               | Sin micro elementos | 4                   |
| T <sub>7</sub>     | 0 - 0 - 0         | Testigo             | 4                   |
| T <sub>8</sub>     | N P K Mg S + ME   | Completo            | 4                   |

Asimismo, las fuentes de los diferentes elementos químicos considerados en su aplicación pueden ser observadas en el Cuadro 5.

**Cuadro 5: Elementos, dosis y fuentes aplicados en el experimento**

| <b>Nutriente</b> | <b>Dosis (ppm)</b> | <b>Fuente</b>        |
|------------------|--------------------|----------------------|
| N                | 300                | Nitrato de amonio    |
| P                | 400                | Súper fosfato triple |
| K                | 200                | Cloruro de potasio   |
| Mg               | 20                 | Cloruro de magnesio  |
| S                | 100                | Sulfato de calcio    |
| Cu               | 0,5                | Cloruro de cobre     |
| Mn               | 10                 | Cloruro de manganeso |
| Fe               | 5                  | Secuestrene          |
| Mo               | 0,1                | Molibdato            |
| B                | 1,5                | Bórax                |

### **3.8.2 Población y Diseño experimental**

Se emplearon 32 macetas conteniendo un sustrato de 4 k. cada una. Las unidades experimentales fueron distribuidas en forma completamente al azar, en la aplicación de ocho tratamientos con sus respectivas 4 repeticiones. Así, los tratamientos correspondieron a repeticiones homogéneas de todas las diversas combinaciones de fórmulas de fertilización para un cultivo de chíá. Estas diversas fórmulas de fertilización en chíá constituyen el total de la población materia de estudio.

Siendo que el estudio correspondió a las diversas fórmulas con la exclusión de elementos minerales imprescindibles en la nutrición mineral bajo dosificaciones teóricamente asumidas como ideales. Así, la muestra de tratamientos es elegida, deliberadamente, entre el universo de las diversas combinaciones de aquellas que podrían ser aplicadas al cultivo.

## Distribución

Su distribución puede observarse en el Gráfico 1. El rotulado de las macetas se representan de la siguiente manera:

- Tratamiento: 1, 2, 3, ...,8
- Repetición: I, II, III, IV
- Descripción del tratamiento

|             |               |              |                |              |             |               |             |
|-------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
| 1-IV<br>-N  | 2-IV<br>-P    | 5-IV<br>-S   | 7-III<br>0-0-0 | 4-I<br>-Mg   | 6-IV<br>-ME | 7-IV<br>0-0-0 | 8-IV<br>C   |
| 3-II<br>-K  | 4-IV<br>-Mg   | 1-I<br>-N    | 8-III<br>C     | 7-I<br>0-0-0 | 2-II<br>-P  | 4-II<br>-Mg   | 5-I<br>-S   |
| 6-II<br>-ME | 3-I<br>-K     | 6-III<br>-ME | 2-III<br>-P    | 1-II<br>-N   | 5-III<br>-S | 3-III<br>-K   | 1-III<br>-N |
| 8-II<br>C   | 7-II<br>0-0-0 | 3-IV<br>-K   | 4-III<br>-Mg   | 5-II<br>-S   | 8-I<br>C    | 6-I<br>-ME    | 2-I<br>-P   |

**Gráfico 1: Distribución de los tratamientos en el invernadero**

Se buscó emplear unidades experimentales lo más homogéneas posibles. Ello supuso sustratos y semillas lo más homogéneas posibles. De esta manera se buscó minimizar la magnitud del error experimental, proveniente, como es sabido, de una variación intrínseca a las unidades experimentales.

El diseño experimental establecido correspondió al Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro repeticiones y la unidad experimental fue la maceta. Para la prueba de comparación se empleó la prueba de Duncan con una significación de 0.05.

## Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad j = 1, 2, 3, 4$$

$Y_{ij}$ : es el comportamiento observado en la unidad experimental (maceta de chía), con la  $i$ -ésima exclusión de elementos, con la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$ : es el efecto de la media general.

$T_i$ : es el efecto de la  $i$ -ésima exclusión de elementos.

$e_{ij}$ : es el efecto del error experimental en la unidad experimental (maceta de chía), con la  $i$ -ésima exclusión de elementos, con la  $j$ -ésima repetición.

## Modelo ANVA

**Cuadro 6: Análisis de varianza del experimento**

| Fuente de Variación | G.L | Suma de Cuadrados | Cuadrados medios | Fcal                 |
|---------------------|-----|-------------------|------------------|----------------------|
| Tratamientos        | 7   | SC (Tratamiento)  | SC (Trat)/(7)    | CM (Trat)/CM (Error) |
| Error               | 24  | SC (Error)        | SC (Error)/(24)  |                      |
| Total               | 31  | SC (Total)        |                  |                      |

### 3.9 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO

#### a) Preparación de las macetas

Se recolectó la arena del río de Cieneguilla, la cual fue homogenizada. Luego se pesaron 4 kg de arena por unidad experimental, para luego verterlas en unas bandejas, con la finalidad de realizar una única aplicación de fuente fosfatada, a base de super fosfato triple, 400 ppm, donde se mezcló con la arena de río, conforme a los tratamientos del experimento.

Finalmente, la arena mezclada con la fuente fosfatada fue vertidas en las macetas, para ello se tuvo el cuidado de tapar con cinta masking tape los agujeros de drenaje

El nitrógeno, potasio, azufre, magnesio y los demás micronutrientes, fueron aplicados fraccionadamente al suelo (ver Cuadro 2), conforme a la fenología de las plantas. De esta manera se buscó evadir problemas de toxicidad o quemaduras.

#### **b) Siembra:**

Se sembraron 25 semillas de chíá, genotipo “Tzotsol”. Las semillas fueron dispuestas radialmente con motivo de incrementar las probabilidades de germinación, para luego realizar el desahije, el cual se efectuó a los 10 DDS, dejándose cinco de las mejores plántulas por maceta.

#### **c) Riegos**

El primer riego fue a capacidad de campo, corresponde a un aproximado de 800 ml. de agua por unidad experimental. La frecuencia aproximada de riegos fue interdiarios, tratando de mantener en capacidad de campo al 80%.

#### **d) Fertilización**

La fertilización nitrogenada fue a base de Nitrato de Amonio, 300 ppm. Su aplicación fue fraccionada, en cuatro tiempos diferentes, con dosis de 50, 50, 100, 100 ppm.

La fertilización potásica fue a base de Cloruro de Potasio, 200 ppm. Su aplicación fue fraccionada, en tres tiempos diferentes, con dosis de 50, 50, 100 ppm.

La fertilización en magnesio fue a base de Cloruro de Magnesio, 20 ppm, y se aplicó toda una sola vez.

La fertilización en azufre fue a base de Sulfato de Calcio, 100 ppm. y se aplicó toda una sola vez.

La fertilización de micronutrientes se realizó una sola vez, y se aplicó 20 días, aproximadamente, antes de la cosecha. Para ello, se aplicaron los siguientes microelementos

en conjunto: Cloruro de Cobre, 0.5 ppm; Cloruro de Manganeso, 10 ppm; Quelato EDDHA de Hierro o Secuestrene, 5 ppm; Molibdato de Amonio, 0.1 ppm; y Bórax, 1.5 ppm.

#### **e) Desarrollo del cultivo**

Desde la siembra hasta la cosecha transcurrieron 3 meses (mayo, junio y julio 2014). Se realizaron deshierbos periódicos y continuos, con la finalidad de no permitir competencia alguna con otras especies vegetales. No hubo control de plagas y enfermedades.

#### **f) Cosecha del cultivo**

La cosecha del cultivo se realizó cuando desarrollaron sus inflorescencias, más no la producción del fruto, ya que, a condiciones de invernadero, no iba a brindar los datos esperados.

### **3.10 CARACTERÍSTICAS EVALUADAS**

#### **3.10.1 Características cuantitativas**

El procedimiento de evaluación final se realizó al cabo a los 100 días después de la siembra. Se realizó la medición de las alturas promedios de las 5 plantas de chíá por unidad experimental (representativa), en la etapa final del experimento. La primera variable a considerar fue el número de inflorescencias promedio, por unidad experimental. Luego se realizó el pesado en fresco tanto la parte aérea como la región radicular, cuya suma proporcionó la biomasa fresca total. Una vez evaluadas las variables en fresco, se etiquetaron por separado la parte aérea y la región radicular, para procederse a un secado. Éste condujo a contar con pesos secos.

El secado fue a 75°C hasta lograr peso constante. El pesado correspondiente fue por medio de una balanza de precisión.

Por lo tanto, en el análisis estadístico se consideró las variables: número de inflorescencias, y biomasa seca total.

### **3.10.2 Características cualitativas**

Al producirse la cosecha, se procedió a cortar las hojas de la planta más representativa de la unidad experimental (maceta), para comparar el tono de color que mostraron los tratamientos con respecto al testigo. Además, nos va a permitir poder discutir los diferentes síntomas que presentan las plantas cuando se produce la deficiencia de un nutriente.

### **3.10.3 Extracción de elementos**

Para realizar las extracciones de elementos, las muestras foliares secas fueron molidas y disueltas en ciertos compuestos para proceder a su análisis foliar. Así, los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, cobre, manganeso, hierro, molibdeno y boro, obtenidos bajo análisis foliar, fueron evaluados estadísticamente de manera comparativa para el análisis respectivo.

Los siguientes análisis se realizaron en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos “Sven Villagarcía” - UNALM:

- Para secado y obtención de materia seca: a 75 °C.
- Para análisis de nitrógeno: método de micro Kjeldahl.

Por otro lado, se realizaron los análisis de extracción de nutrientes de plantas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM:

- Para análisis de fósforo: para obtener la solución se utilizó el método de digestión vía húmeda con ácido nítrico y perclórico, para luego obtener la extracción mediante el método de Azul de molibdeno.
- Para análisis de potasio: método del Espectrofotometría de absorción atómica.
- Para análisis de magnesio: método del Espectrofotometría de absorción atómica.
- Para análisis de azufre: método de turbidimetría con cloruro de bario.
- Para análisis de cobre: método del Espectrofotometría de absorción atómica.
- Para análisis de manganeso: método del Espectrofotometría de absorción atómica.
- Para análisis de hierro: método del Espectrofotometría de absorción atómica.
- Para análisis de molibdeno: método del Azul de molibdeno
- Para análisis de boro: método de colorimetría con curcumina.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 EFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS DEL CULTIVO DE CHÍA**

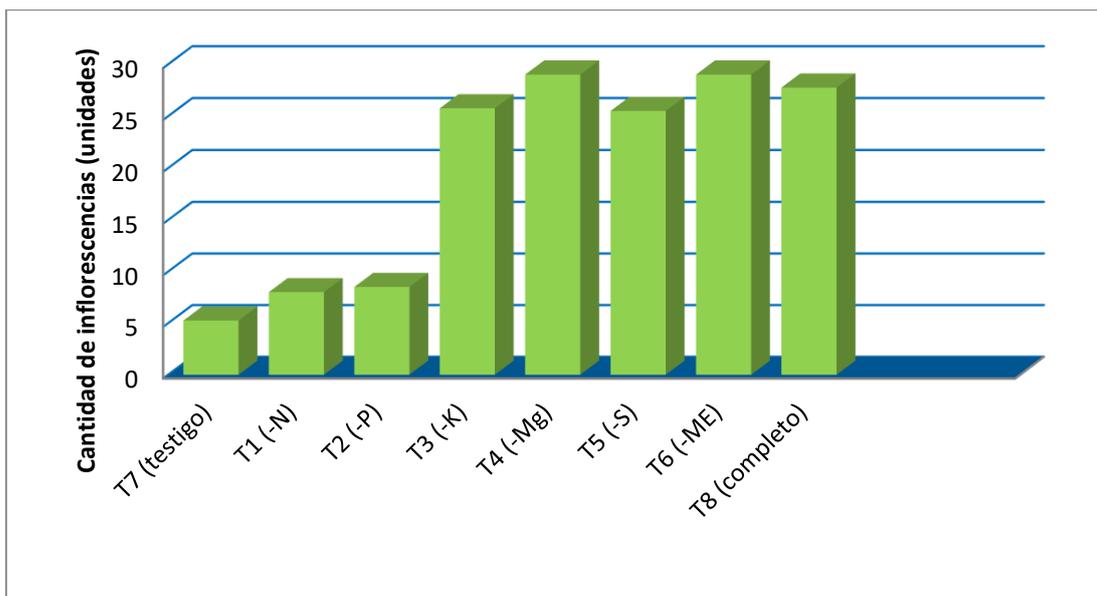
Aspectos morfológicos y de biomasa: número de inflorescencias promedio por unidad experimental; y peso seco de biomasa total (g.). Cabe mencionar que se realizó una medición de la altura promedio, tomándose una unidad experimental representativa por tratamiento, en la etapa final del experimento.

Además, mencionar que la materia seca total se obtuvo a partir de la sumatoria de las evaluaciones de las biomasa aérea y radicular secas. Para los aspectos morfológicos y de masa se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **4.1.1 Número de inflorescencias**

En el análisis de variancia (anexo 13) se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias (cuadro 7), se observa que el tratamiento sin micronutrientes y sin magnesio ocuparon el primer lugar con 29 inflorescencias respectivamente y es similar estadísticamente a los tratamientos completo, sin potasio y sin azufre con 27.8, 25.8 y 25.5 inflorescencias respectivamente; el testigo ocupó el último lugar con 5.3 inflorescencias y es similar estadísticamente a los tratamientos sin nitrógeno y sin fósforo con 8.0 y 8.5 inflorescencias respectivamente.

En otras palabras: el cultivo de chía mostró exigencias altamente significativas de nitrógeno y fósforo, y prácticamente nada de potasio, magnesio, azufre y demás microelementos.



**Gráfico 2: Promedio para número de inflorescencias**

**Cuadro 7: Promedios para número de inflorescencias y comparación de medias Duncan al 0,05 de probabilidad.**

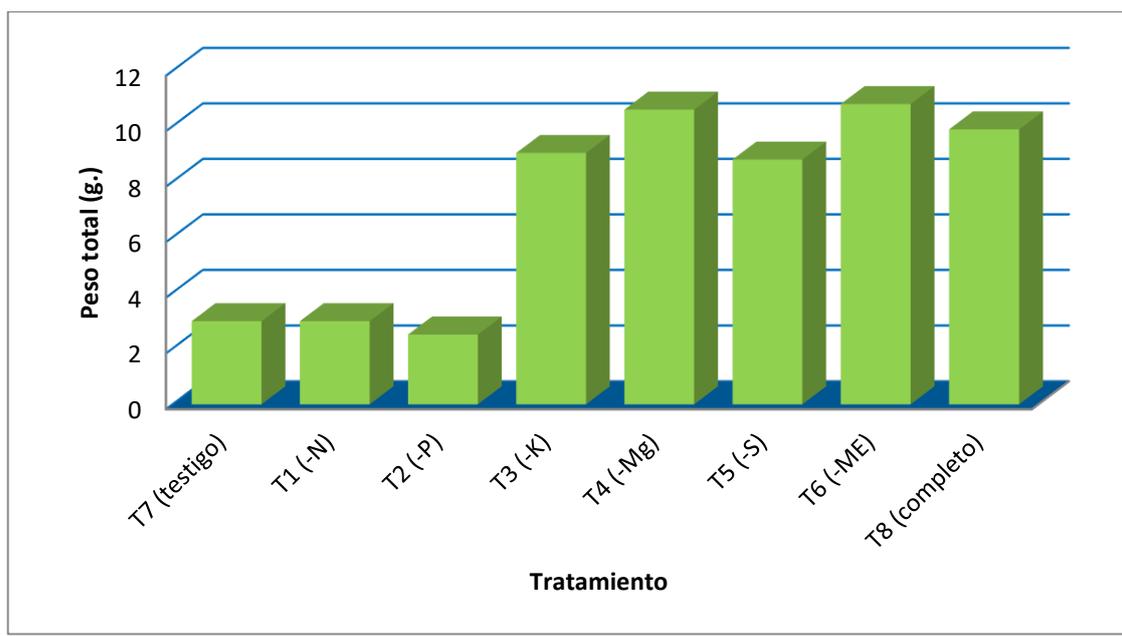
| <b>Tratamiento</b> | <b>Promedio</b> |   |
|--------------------|-----------------|---|
| Sin magnesio       | 29.0            | A |
| Sin microelementos | 29.0            | A |
| Completo           | 27.8            | A |
| Sin potasio        | 25.8            | A |
| Sin azufre         | 25.5            | A |
| Sin fósforo        | 8.5             | B |
| Sin nitrógeno      | 8.0             | B |
| Testigo            | 5.3             | B |

Así, es posible afirmar que el cultivo muestra exigencias en nitrógeno y fósforo tan grandes, que es posible equipararla a necesidades de una fertilización completa. Por otra parte, sus requerimientos en potasio, magnesio, azufre y micronutrientes en general, se expresaron como prácticamente nulas, en la medida que poseyó el mismo grado de significancia a cuando esos elementos sí fueron aportados junto al resto de los demás nutrientes en una fertilización idealizada. Recordemos que las respuestas evaluadas fueron a nivel de número

de inflorescencias. Lo aquí notorio fue el caso del potasio, el tercer macronutriente en importancia en la nutrición mineral de las plantas; el mismo que, sin embargo, evidenció no ser muy requerido por este cultivo para efectos de lograr un adecuado número de inflorescencias.

#### 4.1.2 Peso de materia seca total

En el del análisis de variancia (anexo 14) se observa en su fuente de variación alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 8) se observa que el tratamiento sin micronutrientes obtuvo la mayor biomasa con 10.78 g y es diferente estadísticamente de los demás tratamientos, el segundo lugar lo ocupó el tratamiento sin magnesio con 10.64 g y es diferente estadísticamente de todos los demás tratamientos, el testigo obtuvo el último lugar con 1.91 g y es similar estadísticamente a los tratamientos sin fósforo y sin nitrógeno con 2.35 y 2.98 g respectivamente.



**Gráfico 3: Promedios para peso de materia seca total (g)**

**Cuadro 8: Promedios para peso de materia seca total (g) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

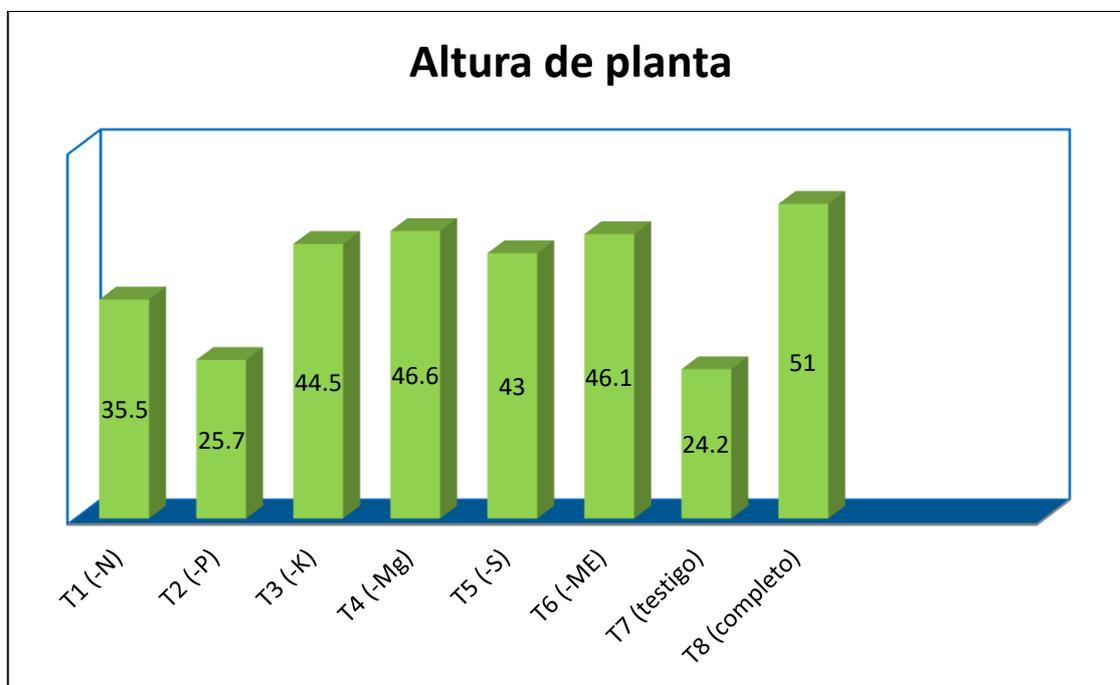
| <b>Tratamiento</b>  | <b>Promedio</b> |   |
|---------------------|-----------------|---|
| Sin micronutrientes | 10.8            | A |
| Sin magnesio        | 10.6            | B |
| Completo            | 9.9             | C |
| Sin potasio         | 9.0             | C |
| Sin azufre          | 8.8             | C |
| Sin nitrógeno       | 3.0             | D |
| Sin fósforo         | 2.3             | D |
| Testigo             | 1.9             | D |

Aunque, lejos de los altos requerimientos de fósforo y nitrógenos, las plantas expresaron necesidades de potasio y azufre al mismo nivel que de una fertilización completa, lo cual indica niveles escasos de requerimientos de estos elementos por parte de las plantas. Sin embargo, es que los requerimientos de magnesio y en general de microelementos, fueron significativamente menores que cuando se produce una fertilización completa. Esto nos induce a pensar en alguna clase de antagonismo en chíá entre el magnesio y algún otro elemento, en relación, siempre, a biomasa total. Como se muestra en el Gráfico 5, es posible afirmar que sólo las carencias de fósforo y nitrógeno en una fertilización de chíá, pueden ser notoriamente más importantes que las de otro elemento, en lo que a biomasa se refiere.

#### **4.1.3 Altura de planta**

En cuanto a altura de planta, se observó en el gráfico 4, que las alturas varían de acuerdo al tipo de tratamiento sometido. Así, una fertilización completa fue quién obtuvo mejor tamaño 51.02 cm. Le siguió en importancia el tratamiento sin magnesio con 46.62 cm, sin micronutrientes con 46.14 cm, sin potasio con 44.50 cm, sin azufre con 43.04 cm. Además, se puede observar que las alturas de plantas se reducen ante una deficiencia de nitrógeno con 35.58 cm y fosforo con 25.75 cm, siendo similares al tratamiento testigo con 24.18 cm. Por ello, Malavolta et al. (1989), indica que el nitrógeno es importante para un mayor crecimiento vegetativo, además Barcello et al., (1988) indica que uno de los síntomas ante

una deficiencia de fósforo, es la reducción del crecimiento vegetativo, y en caso sea grave la deficiencia, las plantas se achaparran.



**Gráfico 4: Promedios para la altura de planta (cm)**

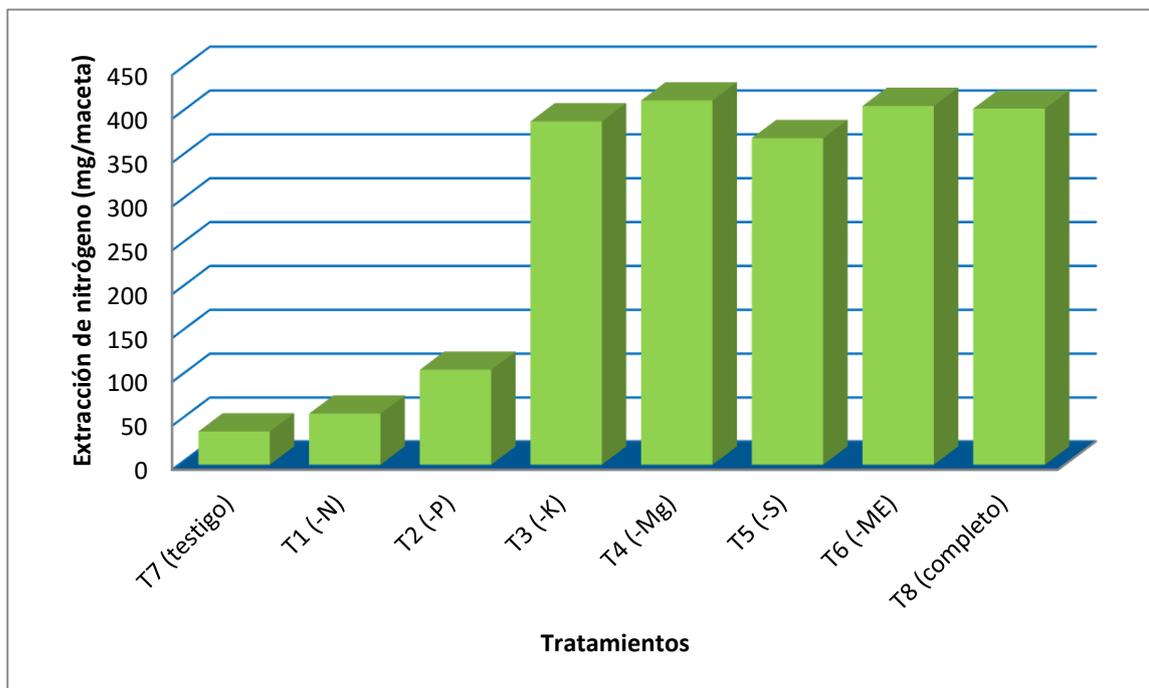
#### **4.2 EFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES**

En cuanto a extracción de nutrientes, los mayores valores indicaron una relativa menor importancia de aquello no aportado a manera de fertilización.

Para este tipo de evaluaciones se obtuvieron en promedio los siguientes resultados, conforme siempre a las extracciones de los correspondientes elementos químicos, en busca de cómo sus ausencias incidieron en los niveles de los principales elementos en la nutrición mineral de las plantas:

#### 4.2.1 Extracción de nitrógeno:

En el análisis de variancia de extracción de nitrógeno (anexo 15) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 9) se observa que el tratamiento sin magnesio obtuvo la mayor extracción de nitrógeno con 415 (mg/maceta) , y es similar estadísticamente a los tratamientos sin micronutriente, completo, sin potasio y sin azufre con 409, 406, 391 y 372 mg/maceta respectivamente; mientras que el testigo ocupó el último lugar con 38 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento sin nitrógeno y sin fósforo con 58 y 108 mg/maceta respectivamente.



**Gráfico 5: Promedios para extracción de nitrógeno (mg/maceta)**

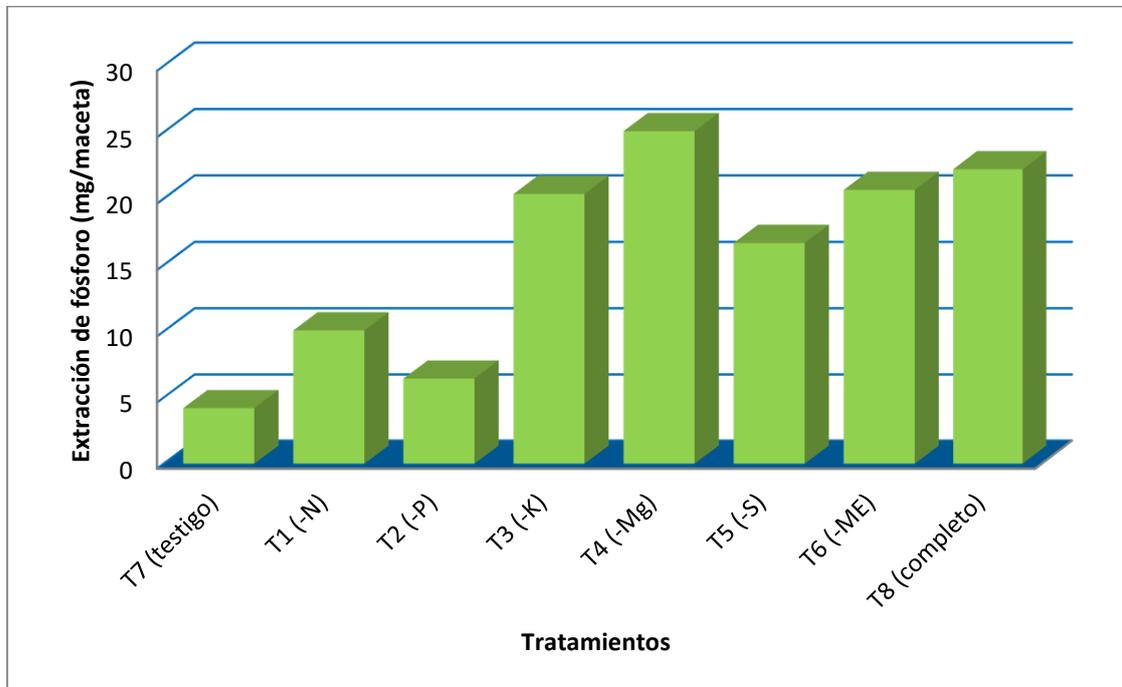
**Cuadro 9: Promedios para extracción de nitrógeno (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| <b>Tratamiento</b>  | <b>Promedio</b> |   |
|---------------------|-----------------|---|
| Sin magnesio        | 415             | A |
| Sin micronutrientes | 409             | A |
| Completo            | 406             | A |
| Sin potasio         | 391             | A |
| Sin azufre          | 372             | A |
| Sin fósforo         | 108             | B |
| Sin nitrógeno       | 58              | C |
| Testigo             | 38              | C |

Los resultados indican en primer lugar que una extracción de nitrógeno en el cultivo depende, muy directa y prioritariamente, de un aporte de nitrógeno, al punto que no fertilizar con nitrógenos resultó significativamente similar a no fertilizar, ello corrobora lo mencionado por Bendaña (2012), quien indica que el cultivo de chía es muy susceptible a la ausencia de nitrógeno, además, Coates y Ayerza (2006) indican que en México utilizan principalmente el nitrógeno en la fertilización del cultivo de chía. Es segundo lugar, se observó que el fósforo constituyó el segundo elemento en ser requerido por el cultivo, en significación menor pero cercanamente a las necesidades de nitrógeno. Luego de observar las necesidades imprescindibles de nitrógeno y fósforo para una extracción todo de fósforo en las plantas y en ese orden, las necesidades de potasio, magnesio y azufre fueron similares e imperceptibles, al punto que sus ausencias arrojaron resultados en extracción de nitrógeno similar a cuando estos elementos son aplicados al lado del demás macro y microelementos (fertilización completa). Así, es posible afirmar que el cultivo no se ve afectado por una fertilización de potasio, magnesio y azufre.

#### 4.2.2 Extracción de fósforo:

En el análisis de variancia de extracción de fosforo (anexo 16) en su fuente de variación se observa un nivel baja significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 10) se observa que el tratamiento sin magnesio obtuvo la mayor extracción de fosforo con 25.1 mg/maceta, y es estadísticamente similar al tratamiento completo con 22.2 mg/maceta. Los tratamientos sin micronutrientes, sin potasio y sin azufre con 20.7, 20.4 y 16.7 mg/maceta respectivamente, son similares estadísticamente. El último lugar lo ocupó el testigo con 4.2 mg/maceta, siendo similar estadísticamente a los tratamientos sin fosforo y sin nitrógeno con 6.4 y 10.1 mg/maceta respectivamente.



**Gráfico 6: Promedios para extracción de fosforo (mg/maceta)**

**Cuadro 10: Promedios para extracción de fosforo (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| <b>Tratamiento</b>  | <b>Promedio</b> |   |
|---------------------|-----------------|---|
| Sin magnesio        | 25.1            | A |
| Completo            | 22.2            | A |
| Sin micronutrientes | 20.7            | B |
| Sin potasio         | 20.4            | B |
| Sin azufre          | 16.7            | B |
| Sin nitrógeno       | 10.1            | C |
| Sin fósforo         | 6.4             | D |
| Testigo             | 4.2             | D |

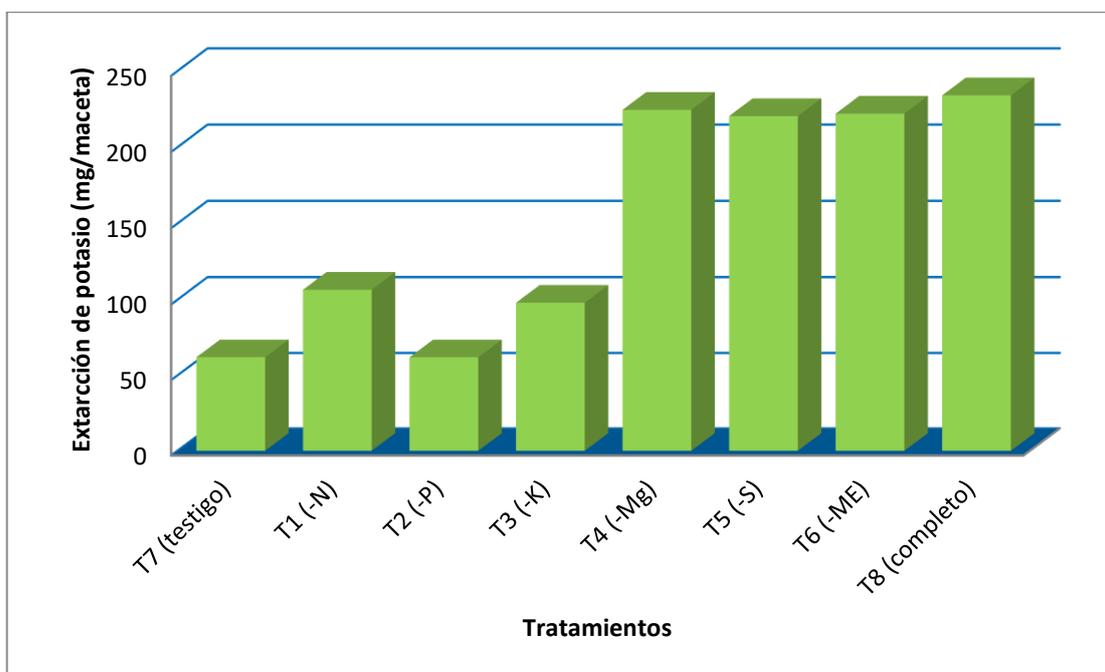
A partir de la presente investigación, es posible afirmar que en el cultivo de chíá las extracciones en fósforo requieren de una fertilización que contenga principalmente nitrógeno y por supuesto el fosforo, además de otros elementos minerales. De acuerdo a los resultados, podríamos decir que el magnesio podría resultar imprescindible para obtener una mayor extracción de fosforo por parte de la planta.

#### **4.2.3 Extracción de potasio:**

En el análisis de variancia de extracción de potasio (anexo 17) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 11) se observa que el tratamiento completo obtuvo la mayor extracción de potasio con 234 mg/maceta, y es similar estadísticamente a los tratamientos sin magnesio, sin micronutriente y sin azufre con 225, 222, 201 mg/maceta respectivamente. Luego se observó al tratamiento sin nitrógeno con 107 mg/maceta, siendo similar estadísticamente al tratamiento sin potasio con 98 mg/maceta. Mientras que el testigo ocupó el último lugar con 39 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento sin fósforo con 62 mg/maceta.

Esto quiere decir, que las extracciones de potasio en la planta no se ven afectadas ante la carencia, por igual, de todos los microelementos, o de magnesio y azufre en lo individual.

Como se muestra en el Gráfico 7, el elemento más importante en el sostenimiento de los niveles adecuados de potasio en la planta, no fue el potasio sino el fósforo, seguido en segundo nivel de significación por los aportes de potasio, y en tercero por un aporte de nitrógeno. Así, las ausencias de fósforo, potasio y nitrógeno, en ese orden, afectan significativamente las extracciones de potasio en la planta de chíá. Además, los aportes de magnesio y azufre no resultaron significativos para el cultivo de chíá, al punto que sus ausencias arrojaron resultados similares a la situación en la que sí se encuentran presentes, con el resto de los componentes de una fertilización completa.



**Gráfico 7: Promedios para extracción de potasio (mg/maceta)**

**Cuadro 11: Promedios para extracción de potasio (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

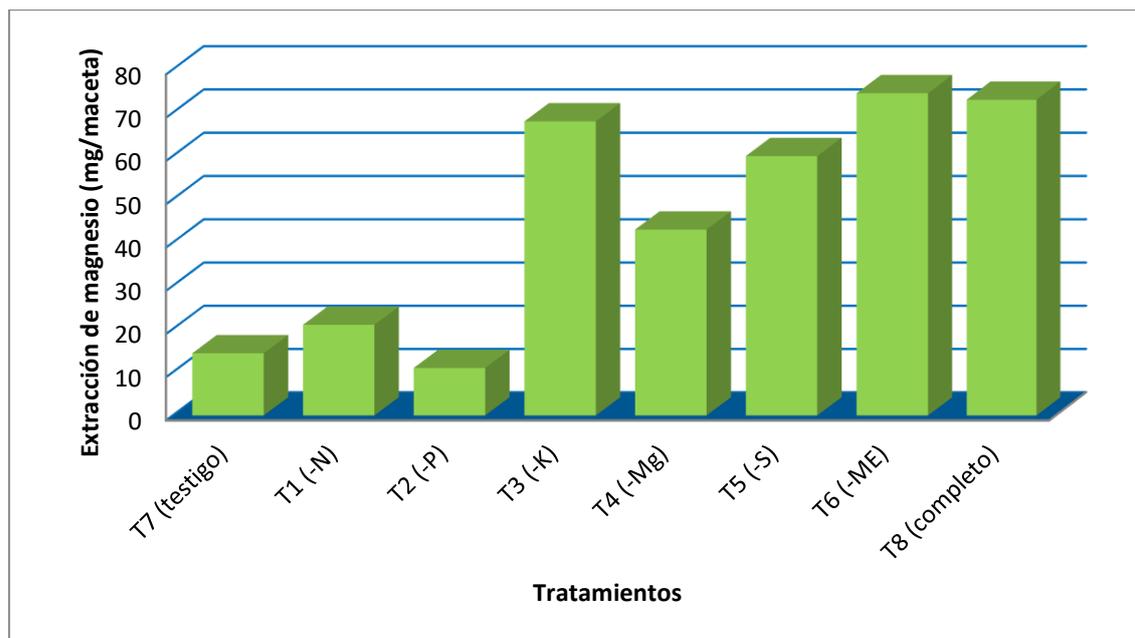
| <b>Tratamiento</b>  | <b>Promedio</b> |   |
|---------------------|-----------------|---|
| Completo            | 234             | A |
| Sin magnesio        | 225             | A |
| Sin micronutrientes | 222             | A |
| Sin azufre          | 200             | A |
| Sin nitrógeno       | 107             | B |
| Sin potasio         | 98              | C |
| Sin fósforo         | 62              | D |
| Testigo             | 39              | D |

#### **4.2.4 Extracción de magnesio:**

En el análisis de variancia de extracción de magnesio (anexo 18) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 12) se observa que el tratamiento sin micronutrientes con obtuvo la mayor extracción de magnesio con 74.4 mg/maceta , y es similar estadísticamente a los tratamientos completo, sin potasio y sin azufre con 73.5, 68.1, 60.6 mg/maceta respectivamente; mientras que el tratamiento sin fosforo ocupó el último lugar con 11.5 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento testigo y sin nitrógeno con 14.4 y 20.8 (mg/maceta) respectivamente.

Esto quiere decir que las extracciones de magnesio en el cultivo se vieron fuertemente afectadas ante una ausencia de fósforo, al mismo nivel al que se produce ante una ausencia total de fertilización. Similar situación, aunque en menor gravedad, se produce ante una ausencia de nitrógeno.

En lo que, al resto de los elementos minerales evaluados, vale decir de potasio y azufre, una ausencia de estos no afectó mayormente a las extracciones de magnesio en la planta, al punto que sus ausencias arrojaron resultados estadísticamente similares a los obtenidos cuando estos elementos sí son empleados.



**Gráfico 8: Promedios para extracción de magnesio (mg/maceta)**

**Cuadro 12: Promedios para extracción de magnesio (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

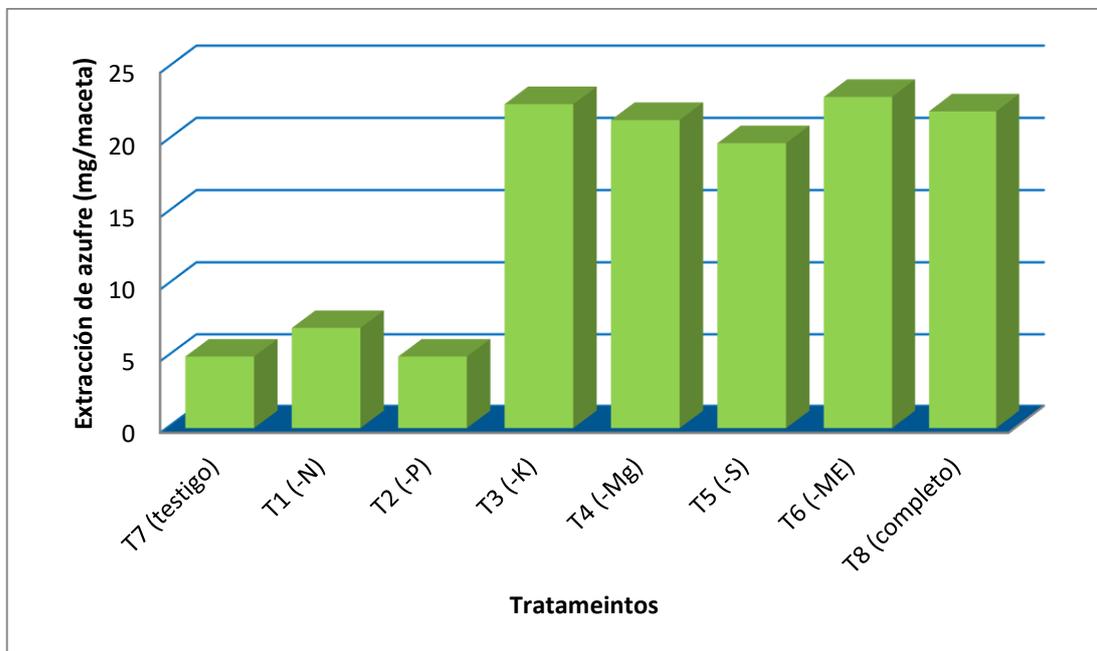
| Tratamiento         | Promedio |   |
|---------------------|----------|---|
| Sin micronutrientes | 74.4     | A |
| Completo            | 73.5     | A |
| Sin potasio         | 68.1     | A |
| Sin azufre          | 60.6     | A |
| Sin magnesio        | 43.3     | B |
| Sin nitrógeno       | 20.8     | C |
| Testigo             | 14.4     | C |
| Sin fósforo         | 11.5     | C |

#### 4.2.5 Extracción de azufre:

En el análisis de variancia de extracción de azufre (anexo 19) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 13) se observa que el tratamiento sin potasio obtuvo

la mayor extracción de azufre con 22.5 mg/maceta , y es similar estadísticamente a los tratamientos sin micronutrientes, completo, sin magnesio y sin azufre con 22.3, 21.8, 21.4, 19.8 mg/maceta respectivamente; mientras que el testigo ocupó el último lugar con 5.0 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento sin fósforo y sin nitrógeno con 5.4 y 7.1 mg/maceta respectivamente.

Como se puede observar en el Gráfico 9, las necesidades de nitrógeno y fósforo en el cultivo llegaron a niveles tales, que una ausencia de estos equivalió, estadísticamente, a una ausencia total de cualquier clase de fertilización.



**Gráfico 9: Promedios para extracción de azufre (mg/maceta)**

**Cuadro 13: Promedios para extracción de azufre (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| <b>Tratamiento</b>  | <b>Promedio</b> |   |
|---------------------|-----------------|---|
| Sin potasio         | 22.5            | A |
| Sin micronutrientes | 22.3            | A |
| Completo            | 21.8            | A |
| Sin magnesio        | 21.4            | A |
| Sin azufre          | 19.8            | A |
| Sin nitrógeno       | 7.1             | B |
| Sin fosforo         | 5.4             | B |
| Testigo             | 5.0             | B |

En situación opuesta, se ubicó al resto de las respuestas de los tratamientos, todos en un mismo grado de significación. Así, las necesidades de potasio, magnesio y azufre para el cultivo de chíá no resultaron significativas en lo que a abastecer las necesidades de azufre se refiere, al punto que resultó indiferente la carencia individual de cada uno de estos elementos en comparación a una situación en que estos sí fueron aportados por medio de una fertilización completa.

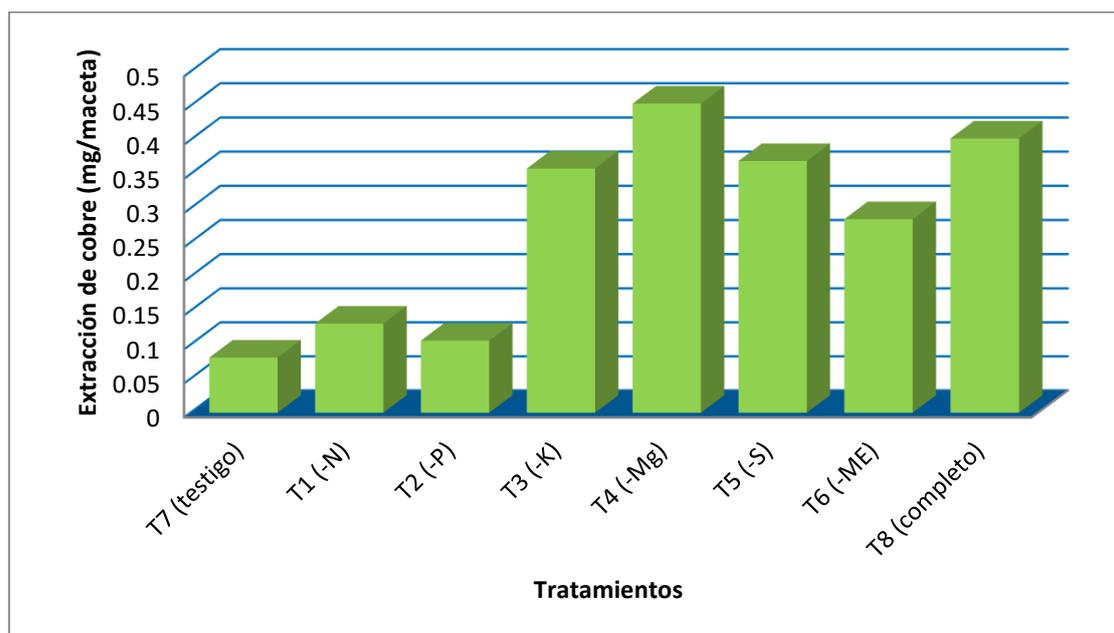
#### **4.2.6 Extracción de cobre:**

En el análisis de variancia de extracción de cobre (anexo 20) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 14) se observa que el tratamiento sin magnesio obtuvo la mayor extracción de cobre con 0.453 mg/maceta, y es diferente estadísticamente de los demás tratamientos, el segundo lugar lo ocupó el tratamiento completo con 0.402 mg/maceta, y es diferente estadísticamente de los demás tratamientos; el testigo obtuvo el último lugar con 0.081 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento sin fosforo y sin nitrógeno con 0.106 y 0.131 mg/maceta respectivamente.

Por lo tanto, se puede decir que las extracciones de cobre se ven perjudicados ante las ausencias individuales de nitrógeno y fósforo, al punto que estadísticamente dichas ausencias fueron similares a cuando no se aporta ningún elemento al suelo.

Además, se encontró que una ausencia de potasio, azufre y de microelementos en general, fue similar en lo que a extracciones de cobre se refiere, aunque no en los niveles peligrosos de las ausencias de nitrógeno y fósforo.

Finalmente, bajo las condiciones de la presente investigación, la menor afectación en cuanto a extracción de cobre se refiere, se produjo ante una ausencia de magnesio.



**Gráfico 10: Promedios para extracción de cobre (mg/maceta)**

**Cuadro 14: Promedios para extracción de cobre (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| Tratamiento         | Promedio |   |
|---------------------|----------|---|
| Sin magnesio        | 0.453    | A |
| Completo            | 0.402    | B |
| Sin azufre          | 0.369    | C |
| Sin potasio         | 0.358    | C |
| Sin micronutrientes | 0.284    | C |
| Sin nitrógeno       | 0.131    | D |
| Sin fósforo         | 0.106    | D |
| Testigo             | 0.081    | D |

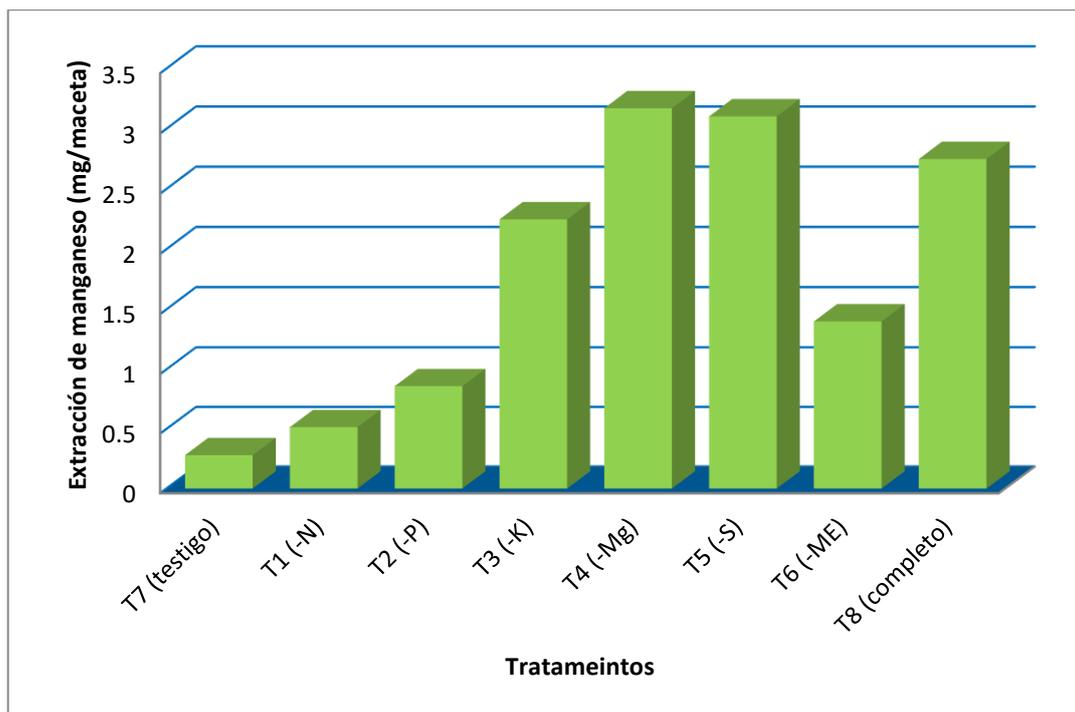
#### **4.2.7 Extracción de manganeso:**

En el análisis de variancia de extracción de manganeso (anexo 21) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 15) se observó que el tratamiento sin magnesio obtuvo la mayor extracción de manganeso con 3.170 mg/maceta, y es similar estadísticamente al tratamiento sin azufre con 3.102 mg/maceta, El tercer lugar lo ocupó el tratamiento completo con 2.748 mg/maceta, y es similar estadísticamente al tratamiento sin potasio con 2.247 mg/maceta. El último lugar lo ocupó el testigo con 0.280 mg/maceta, y es similar estadísticamente al tratamiento sin nitrógeno y sin fósforo con 0.515 y 0.849 mg/maceta respectivamente.

Por lo tanto, una extracción de manganeso se ve altamente perjudicado ante una falta individual de nitrógeno, ver Gráfico 11, tanto así que se equiparó a una ausencia total de cualquier clase de fertilización. Además, se encontró que una ausencia de fósforo fue tan significativa en la extracción de manganeso, como lo fue no contar con ningún microelemento en la fertilización.

También, se observó que una ausencia de potasio fue tan poco significativa en la extracción de manganeso, al grado que fue posible equipararla con una fertilización completa en la que no existen ausencias.

Finalmente, se obtuvo que ausencias individuales de magnesio y azufre produjeron los más altos resultados en cuanto a una absorción general de microelementos, por que quedó evidenciado su escasa importancia individualizada en una fertilización que busca elevar una presencia generalizada de micronutrientes.



**Gráfico 11: Promedios para extracción de manganeso (mg/maceta)**

**Cuadro 15: Promedios para extracción de manganeso (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| Tratamiento         | Promedio |   |
|---------------------|----------|---|
| Sin magnesio        | 3.170    | A |
| Sin azufre          | 3.102    | A |
| Completo            | 2.748    | B |
| Sin potasio         | 2.247    | B |
| Sin micronutrientes | 1.399    | C |
| Sin fósforo         | 0.849    | D |
| Sin nitrógeno       | 0.515    | D |
| Testigo             | 0.280    | D |

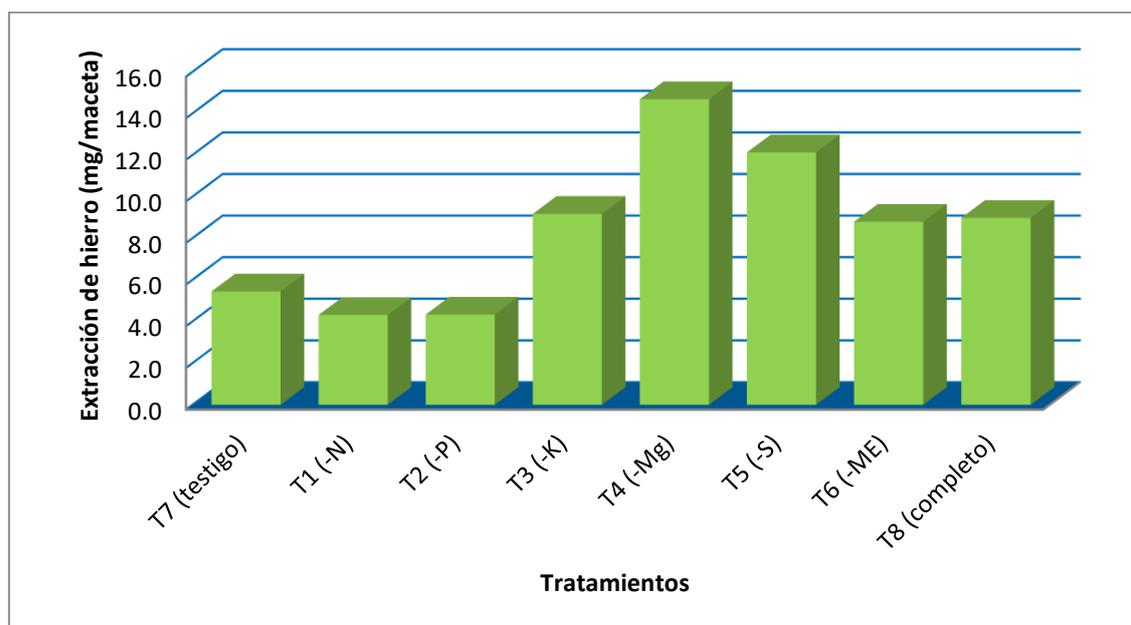
En esta evaluación de una extracción de manganeso parece que el magnesio y azufre muestran alguna clase de antagonismo en el cultivo de chíá, sin la posibilidad de que mediante la presente investigación se logre identificar en relación a qué microelemento

químico está dirigida, debido a que dicho elemento se encuentra escondido en la totalidad de microelementos aquí evaluados.

#### 4.2.8 Extracción de hierro:

En el análisis de variancia de extracción de hierro (anexo 22) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 16) se observó que el tratamiento sin magnesio obtuvo la mayor extracción de hierro con 14.683 mg/maceta, siendo diferente estadísticamente de los demás tratamientos. El segundo lugar lo ocupó el tratamiento sin azufre con 12.124 mg/maceta, diferente estadísticamente de los demás tratamientos. El tercer lugar lo ocupó el tratamiento sin potasio con 9.167 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento completo y sin micronutrientes con 8.976 y 8.785 mg/maceta respectivamente. El último lugar lo ocupó el tratamiento sin nitrógeno con 4.308 mg/maceta, y es similar estadísticamente al tratamiento testigo y sin fósforo 5.435 y 4.325 mg/maceta respectivamente.

Por lo tanto, se observó que ausencias individuales de nitrógeno y fósforo, fueron igualmente negativas para la extracción de hierro en la planta, al extremo que sus valores estuvieron por debajo del tratamiento testigo.



**Gráfico 12: Promedios para extracción de hierro (mg/maceta)**

**Cuadro 16: Promedios para extracción de hierro (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

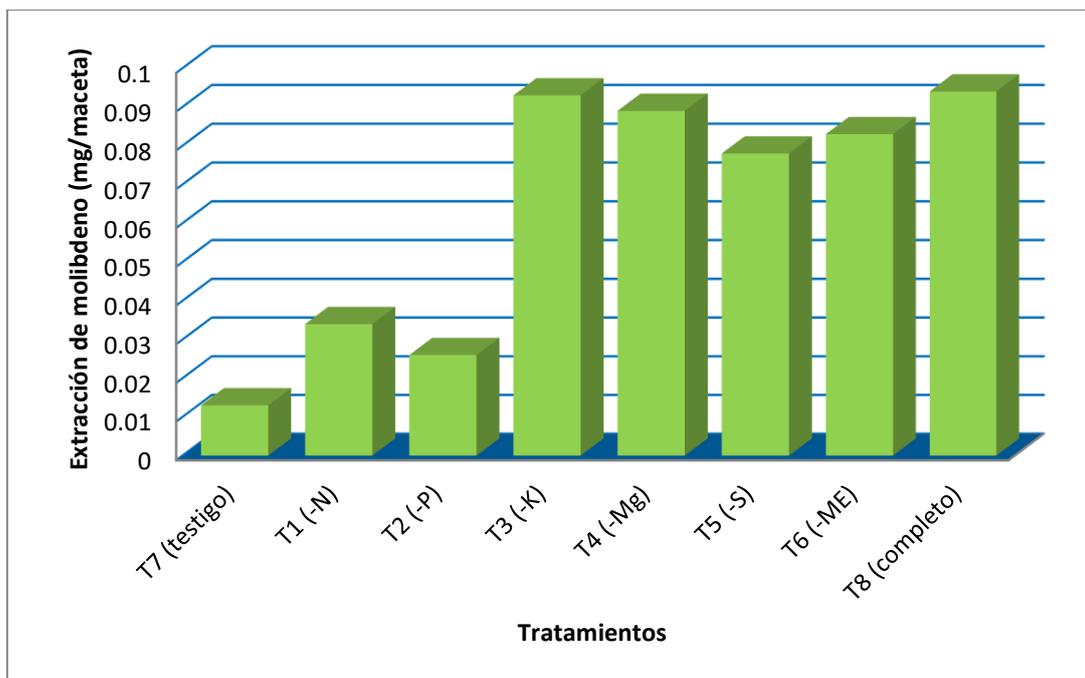
| <b>Tratamiento</b> | <b>Promedio</b> |   |   |   |
|--------------------|-----------------|---|---|---|
| Sin magnesio       | 14.683          | A |   |   |
| Sin azufre         | 12.124          |   | B |   |
| Sin potasio        | 9.167           |   |   | C |
| Completo           | 8.976           |   |   | C |
| Sin microelementos | 8.785           |   |   | C |
| Testigo            | 5.435           |   |   | D |
| Sin fósforo        | 4.325           |   |   | D |
| Sin nitrógeno      | 4.308           |   |   | D |

En situación alterna y con resultados altamente opuestos, ausencias individuales de magnesio y azufre, ausentes por igual, fueron igualmente imperceptibles en cuanto a un perjuicio en el cultivo.

Aquí, y al igual que en el caso de los niveles de extracción de manganeso, se obtuvo el resultado paradójico de una mayor extracción de hierro ante una ausencia de magnesio, al punto que la extracción de hierro fue significativamente mayor, a cuando el magnesio estuvo presente. Por lo tanto, es posible dar cuenta de que en el cultivo de chíá se puso de manifiesto un antagonismo entre el magnesio y el hierro. De haberse contado con un tratamiento basado en una extracción de hierro, hubiera sido posible corroborar este resultado.

#### **4.2.9 Extracción de molibdeno:**

En el análisis de variancia de extracción de molibdeno (anexo 23) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 17) se observa que el tratamiento completo obtuvo la mayor extracción de molibdeno con 0.094 mg/maceta , y es similar estadísticamente a los tratamientos sin potasio, sin magnesio, sin micronutriente y sin azufre con 0.093, 0.089, 0.083 y 0.078 mg/maceta respectivamente; mientras que el testigo ocupó el último lugar con 0.013 mg/maceta y es similar estadísticamente al tratamiento sin fósforo y sin nitrógeno con 0.026 y 0.034 mg/maceta respectivamente.



**Gráfico 13: Promedios para extracción de molibdeno (mg/maceta)**

**Cuadro 17: Promedios para extracción de molibdeno (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| Tratamiento         | Promedio |   |
|---------------------|----------|---|
| Completo            | 0.094    | A |
| Sin potasio         | 0.093    | A |
| Sin magnesio        | 0.089    | A |
| Sin micronutrientes | 0.083    | A |
| Sin azufre          | 0.078    | A |
| Sin nitrógeno       | 0.034    | B |
| Sin fósforo         | 0.026    | B |
| Testigo             | 0.013    | B |

Por lo tanto, se observó que ausencias individuales de nitrógeno y fósforo fueron por igual de la máxima importancia en una asimilación de molibdeno, al punto que equivalieron a una ausencia de todo tipo de fertilización. En situación alterna y opuesta, ausencias individuales de potasio, magnesio y azufre como de microelementos en general, fueron por igual poco

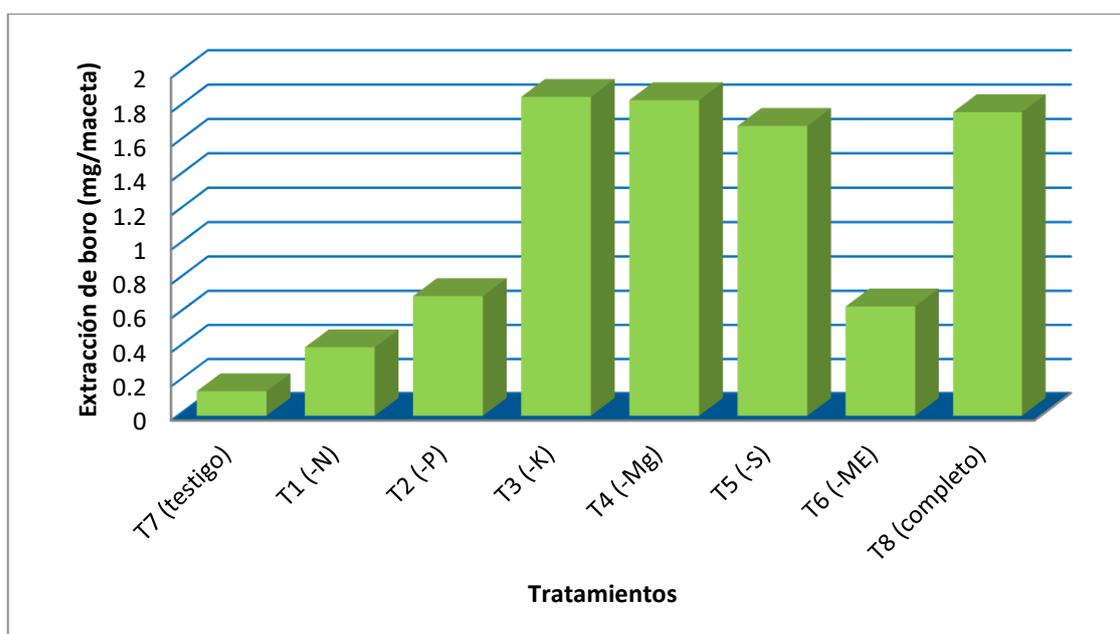
importantes en una absorción de molibdeno en la planta, al punto que no difirieron significativamente de una fertilización completa con macro y microelementos.

#### 4.2.10 Extracción de boro:

En el análisis de variancia de extracción de boro (anexo 24) en su fuente de variación se observa alta significación estadística para tratamientos; al realizar la comparación de medias Duncan al 0.05 de probabilidad (cuadro 18) se observa que el tratamiento sin potasio obtuvo la mayor extracción de boro con 1.861 mg/maceta, y es similar estadísticamente a los tratamientos sin magnesio, completo, sin azufre con 1.842, 1.773, 1.692 mg/maceta respectivamente. Luego el tratamiento sin fósforo con 0.702 mg/maceta, es similar estadísticamente al tratamiento sin microelementos con 0.642. El testigo ocupó el último lugar con 0.144 mg/maceta estadísticamente similar al tratamiento sin nitrógeno con 0.402 mg/maceta.

Por lo tanto, una ausencia individual de nitrógeno fue perjudicial para una extracción de boro, al punto de ser significativamente igual si no aplicara ningún microelemento.

Además, se observó que los efectos de ausencias individuales de potasio, magnesio o azufre en el cultivo fueron tan imperceptibles, que tuvieron equivalencia a una fertilización completa sobre la extracción de boro.



**Gráfico 14: Promedios para extracción de boro (mg/maceta)**

**Cuadro 18: Promedios para extracción de boro (mg/maceta) y prueba de Duncan al 0,05 de probabilidad.**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Promedio</b> |   |   |
|--------------------|-----------------|---|---|
| Sin potasio        | 1.861           | A |   |
| Sin magnesio       | 1.842           | A |   |
| Completo           | 1.773           | A |   |
| Sin azufre         | 1.692           | A |   |
| Sin fósforo        | 0.702           |   | B |
| Sin microelementos | 0.642           |   | B |
| Sin nitrógeno      | 0.402           |   | C |
| Testigo            | 0.144           |   | C |

**Cuadro 19: Resumen de los tratamientos junto a las variables a considerar en el experimento, según sus promedios.**

| N° | TRATAMIENTO              | ALTURA DE PLANTA | NÚMERO DE INFLORESCENCIAS | BIOMASA TOTAL | Extracción de nutrientes (mg/maceta) |       |        |       |       |       |       |        |       |       |
|----|--------------------------|------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|    |                          |                  |                           |               | N                                    | P     | K      | Mg    | S     | Cu    | Mn    | Fe     | B     | Mo    |
| 1  | Sin Nitrógeno (-N)       | 35.58            | 8.00                      | 2.98          | 58.17                                | 10.08 | 106.51 | 20.81 | 7.08  | 0.131 | 0.515 | 4.308  | 0.402 | 0.034 |
| 2  | Sin Fósforo (-P)         | 25.75            | 8.50                      | 2.35          | 108.16                               | 6.44  | 62.11  | 11.54 | 5.39  | 0.106 | 0.849 | 4.325  | 0.702 | 0.026 |
| 3  | Sin Potasio (-K)         | 44.50            | 25.75                     | 9.05          | 391.40                               | 20.35 | 98.09  | 68.12 | 22.53 | 0.358 | 2.246 | 9.167  | 1.861 | 0.093 |
| 4  | Sin Magnesio (-Mg)       | 46.62            | 29.00                     | 10.64         | 415.26                               | 25.08 | 224.55 | 43.27 | 21.45 | 0.453 | 3.170 | 14.683 | 1.842 | 0.089 |
| 5  | Sin Azufre (-S)          | 43.04            | 25.50                     | 8.80          | 372.35                               | 16.66 | 200.45 | 60.62 | 19.76 | 0.369 | 3.102 | 12.124 | 1.692 | 0.078 |
| 6  | Sin Microelementos (-ME) | 46.14            | 29.00                     | 10.78         | 409.00                               | 20.65 | 222.04 | 74.40 | 22.29 | 0.283 | 1.399 | 8.784  | 0.642 | 0.083 |
| 7  | Testigo (0-0-0)          | 24.18            | 5.25                      | 1.91          | 37.93                                | 4.20  | 38.66  | 14.38 | 4.97  | 0.081 | 0.279 | 5.435  | 0.144 | 0.013 |
| 8  | Completo                 | 51.02            | 27.75                     | 9.89          | 406.02                               | 22.21 | 233.98 | 73.46 | 21.80 | 0.402 | 2.748 | 8.975  | 1.773 | 0.094 |

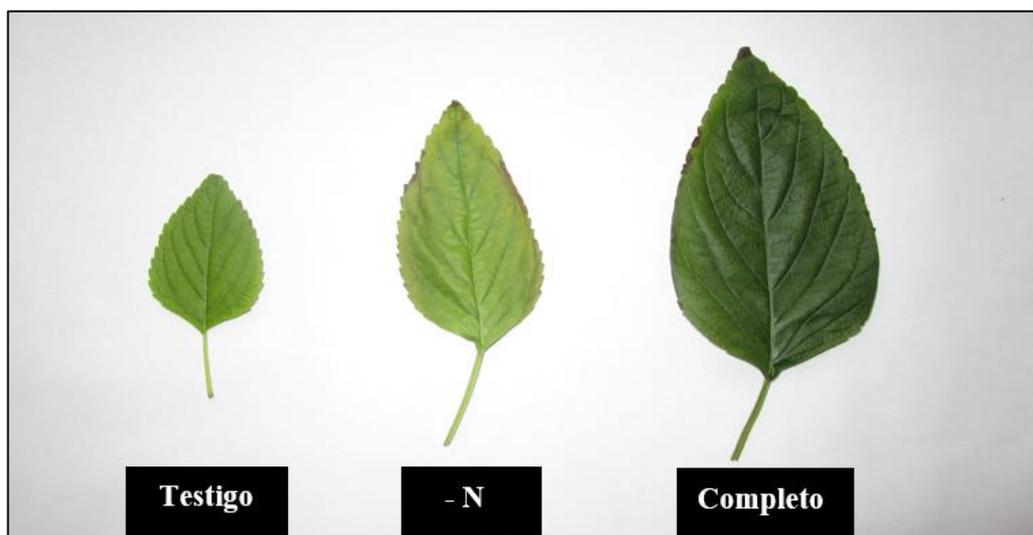
**Cuadro 20: Resumen de las extracciones consideradas en el experimento, según sus promedios.**

| N° | Tratamiento              | Extracción de nutrientes |       |       |        |       |          |          |          |         |          |
|----|--------------------------|--------------------------|-------|-------|--------|-------|----------|----------|----------|---------|----------|
|    |                          | N (%)                    | P (%) | K (%) | Mg (%) | S (%) | Cu (ppm) | Mn (ppm) | Fe (ppm) | B (ppm) | Mo (ppm) |
| 1  | Sin Nitrógeno (-N)       | 1.65                     | 0.26  | 2.23  | 0.55   | 0.24  | 134.75   | 514.25   | 5,882.00 | 214.50  | 26.40    |
| 2  | Sin Fósforo (-P)         | 3.77                     | 0.25  | 1.66  | 0.43   | 0.24  | 156.50   | 746.5    | 9,206.00 | 409.75  | 37.19    |
| 3  | Sin Potasio (-K)         | 3.49                     | 0.21  | 0.69  | 0.53   | 0.26  | 151.25   | 601.25   | 5,690.00 | 278.75  | 44.99    |
| 4  | Sin Magnesio (-Mg)       | 3.14                     | 0.22  | 1.35  | 0.38   | 0.24  | 149.75   | 594.00   | 6,656.00 | 240.25  | 32.52    |
| 5  | Sin Azufre (-S)          | 3.38                     | 0.19  | 1.42  | 0.51   | 0.23  | 154.00   | 714.50   | 6,371.00 | 264.75  | 34.60    |
| 6  | Sin Microelementos (-ME) | 3.09                     | 0.19  | 1.29  | 0.51   | 0.22  | 97.25    | 423.75   | 4,651.75 | 103.50  | 20.90    |
| 7  | Testigo (0-0-0)          | 1.74                     | 0.21  | 1.68  | 0.72   | 0.27  | 106.50   | 384.25   | 8,271.75 | 142.50  | 13.84    |
| 8  | Completo                 | 2.95                     | 0.21  | 1.52  | 0.54   | 0.24  | 159.25   | 598.00   | 4,941.75 | 248.00  | 42.65    |

### 4.3 EFECTO DE LA EXCLUSIÓN DE MACRO Y MICRO ELEMENTOS EN LAS CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DEL CULTIVO DE CHÍA

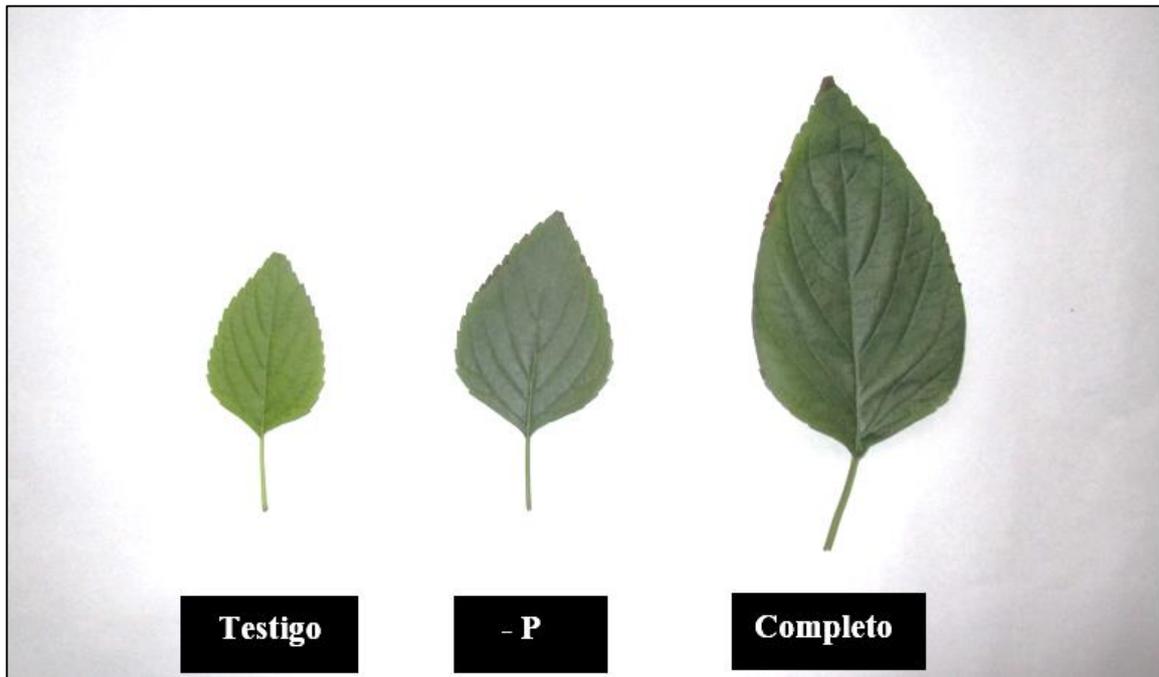
Para observar los síntomas visuales que se produjeron por la exclusión de los macro y micro elementos, se tomó en cuenta la coloración de las hojas, las cuales se presentan a continuación.

En la Figura 8, se observa el T1, a quien no se le aplicó nitrógeno, tiene una coloración verde amarillento, y en el borde se presentan unas pequeñas quemaduras; esto corrobora a lo mencionado por Salisbury y Ross (1994) quien indica que a causa de una deficiencia extrema todas las hojas se amarillan y luego se quema a medida que muere. A pesar de haberse aplicado todos los demás elementos mencionados en el Cuadro 5.



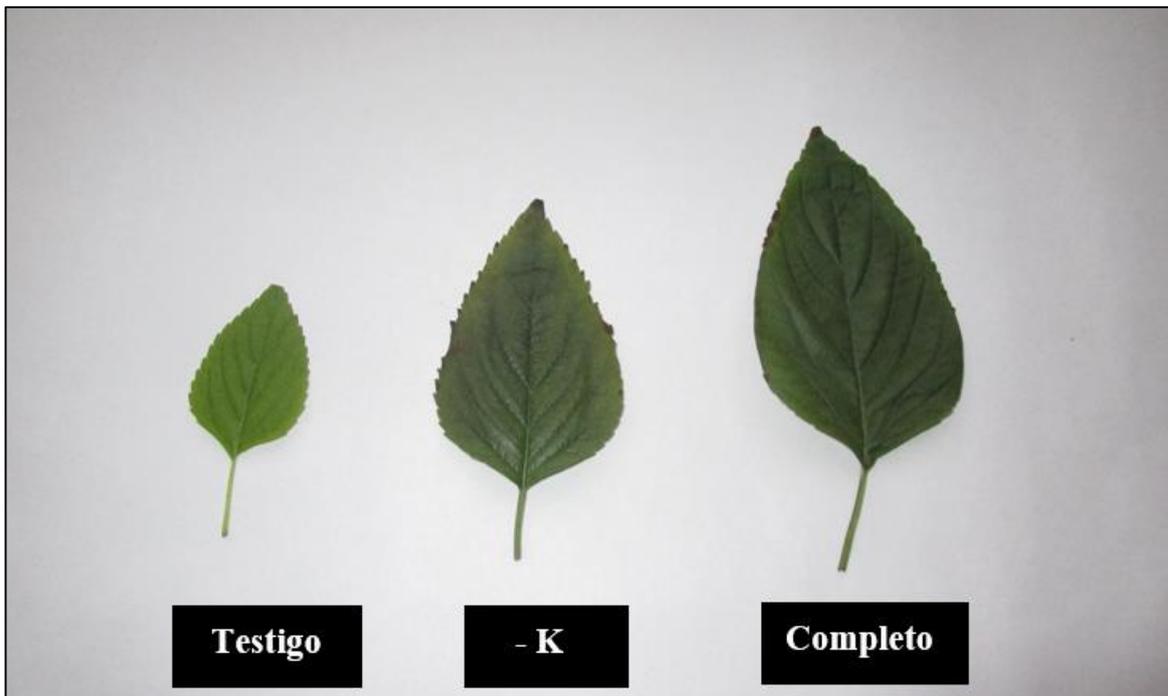
**Figura 8. Comparación foliar del T1 (-N) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

En la figura 9, se observa el T2, a quien no se le aplicó fósforo, la hoja es pequeña, casi igualándose con el testigo (0-0-0), con una coloración verde oscura; esto corrobora lo mencionado por Barcello (1988), quien menciona que ante la deficiencia de fósforo hay una reducción del crecimiento y las hojas se tornan de color verde oscuro o verde azulada.



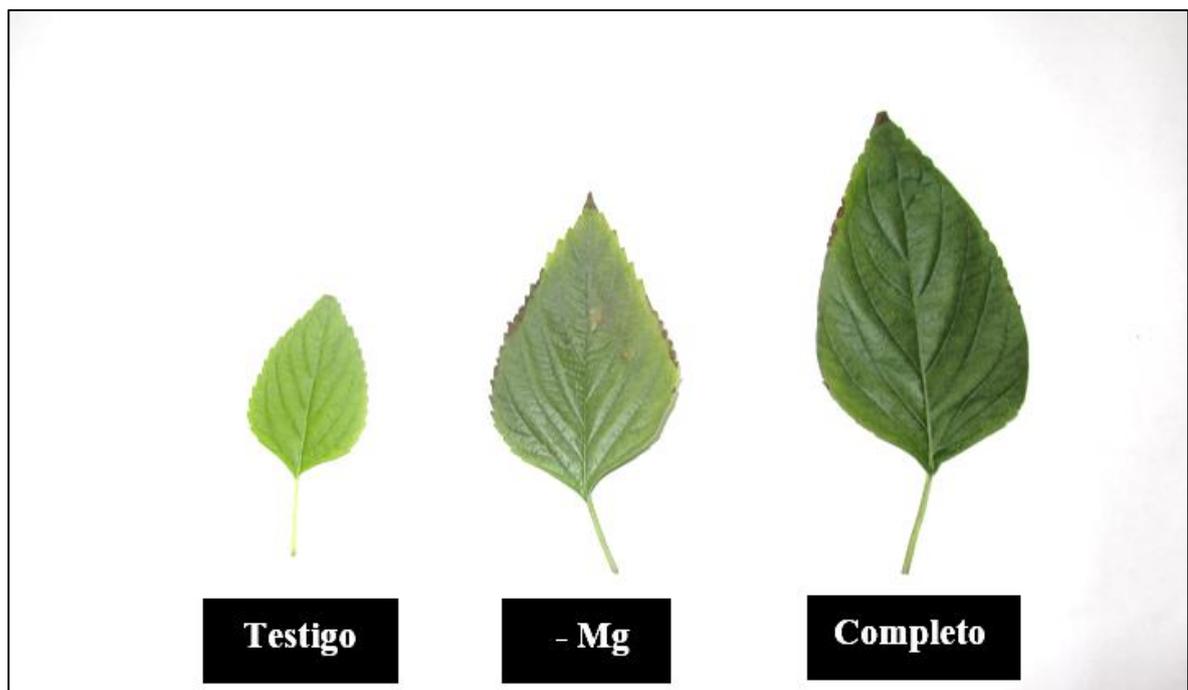
**Figura 9. Comparación foliar del T2 (-P) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

En la Figura 10, se observa el T3, a quien no se le aplicó potasio, la hoja tiene tamaño promedio con respecto al testigo y al completo, con una coloración verde oscura, en algunas zonas de la hoja hay como una coloración amarillenta leve; esto corrobora lo mencionado por Barcello (1988), quien indica que ante la deficiencia de potasio se manifiesta un moteado de manchas cloróticas seguida de zonas necróticas en la punta y bordes de las hojas. A pesar de ello, la hoja no muestra síntomas muy pronunciados, por lo que se podría concluir, que la exclusión de este elemento no ha sido fuertemente evidenciado.



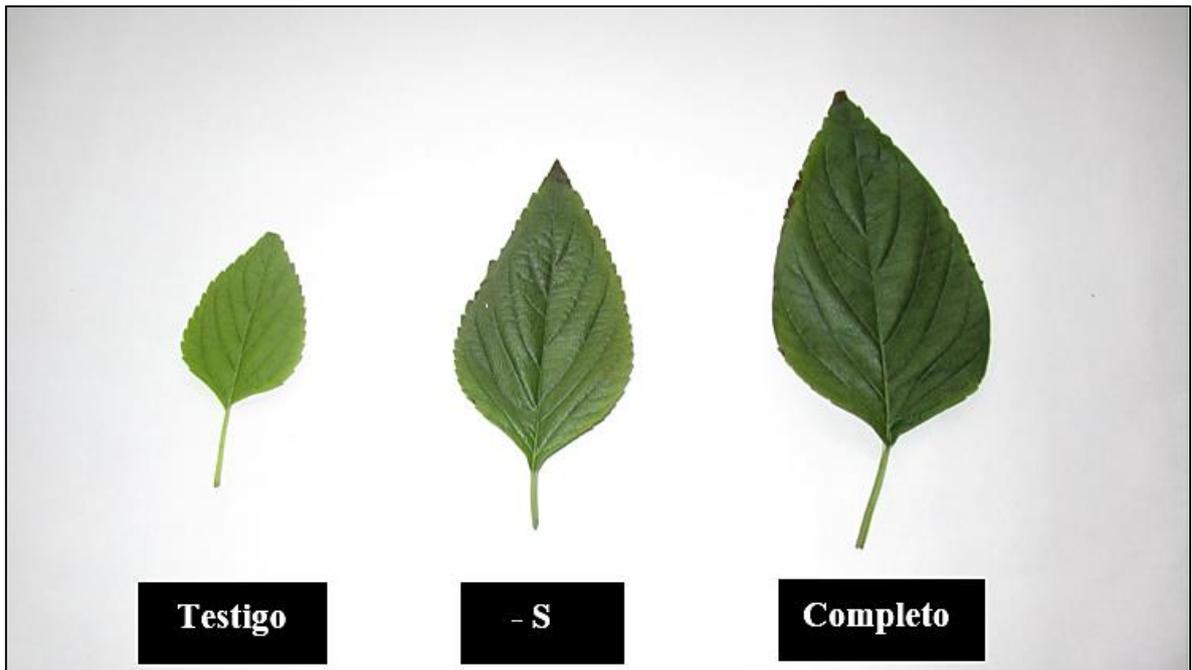
**Figura 10. Comparación foliar del T3 (-K) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

En la figura 11, se observa el T4, a quien no se le aplico magnesio, la hoja tiene un tamaño promedio con respecto al testigo y al completo, quemaduras en los bordes, con una coloración verde, con una ligera clorosis internerval; esto corrobora lo mencionado por Tisdale y Nelson (1988), quienes indican que ante la deficiencia de magnesio se manifiesta una clorosis entre los nervios. A pesar de ello, la hoja no muestra síntomas muy pronunciados, por lo que se podría concluir, que la exclusión de este elemento no sido fuertemente evidenciado.



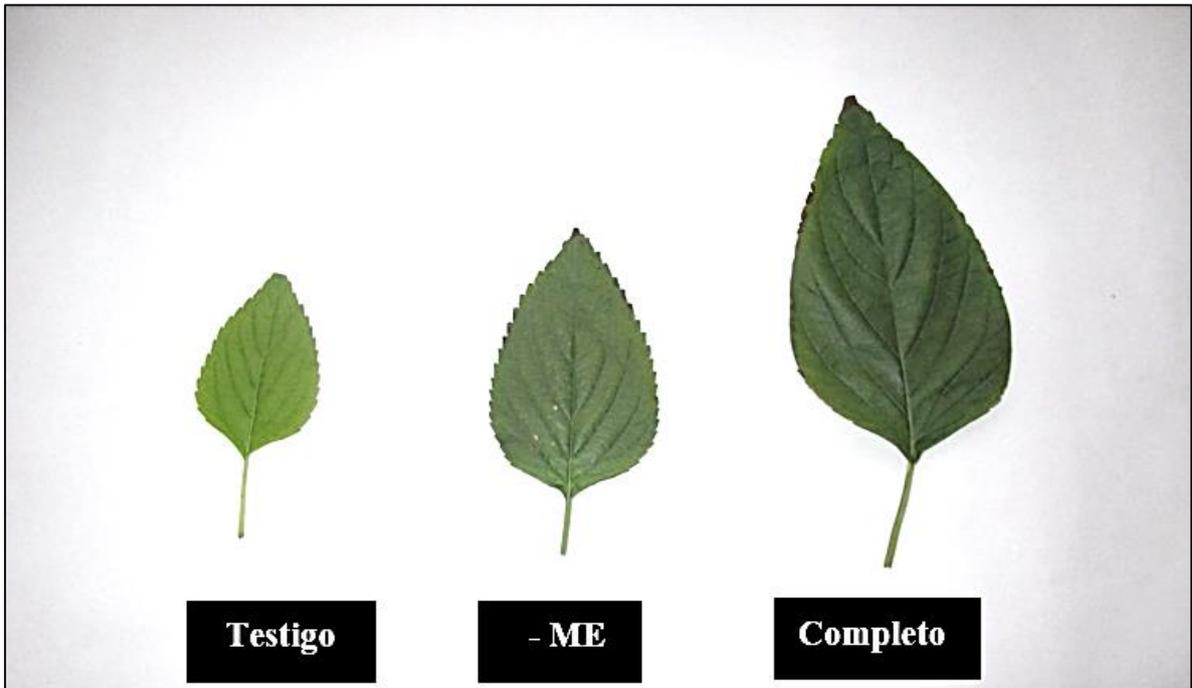
**Figura 11. Comparación foliar del T4 (-Mg) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

En la figura 12, se observa el T5, a quien no se le aplicó azufre, la hoja tiene un tamaño promedio con respecto al testigo y al completo, una coloración verde ligeramente amarillenta, esto corrobora lo mencionado por Tisdale y Nelson (1991), quienes indican que ante la deficiencia de azufre se manifiesta una clorosis. Pero, a pesar de ello, la hoja no muestra síntomas muy pronunciados, por lo que se podría concluir, que la exclusión de este elemento no ha sido fuertemente evidenciada.



**Figura 12. Comparación foliar del T5 (-S) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

En la figura 13, se observa el T6, a quien no se le aplico micronutrientes, la hoja tiene un tamaño promedio con respecto al testigo y al completo, una coloración verde ligeramente. Se puede ver que la deficiencia de microelementos no afecto de manera visual el desarrollo del cultivo. Se puede observar en la Figura 17, que el T6, tiene similar porte al tratamiento donde se aplicaron todos los nutrientes.



**Figura 13. Comparación foliar del T6 (-ME) con el T7 (testigo) y T8 (completo)**

## V. CONCLUSIONES

Son conclusiones en la presente investigación, los siguientes aspectos:

- a) Los nutrientes más importantes en el cultivo de chía son el nitrógeno y el fósforo. En aspectos tales como el número de inflorescencias, vigor de planta (altura de plantas y biomasa total) y requerimientos nutricionales en general, las exigencias de nitrógeno y fósforo se equipararon a las de una fertilización completa, compuesta de macro y micronutrientes.
- b) Una sinergia del nitrógeno y el fósforo en relación a una absorción de la mayoría de los elementos minerales importantes para el desarrollo de productivo de la chía, quedó aquí evidenciada, con una posible excepción del potasio.
- c) Los nutrientes menos importantes en el cultivo de chía están representados en el grupo de micronutrientes o microelementos. En la presente investigación, sus ausencias no resultaron significativas. Esta situación de produjo en cuanto a la característica más directamente vinculada con la producción: el número de inflorescencias; pero también se dio en relación a las características que dan cuenta del vigor de planta (altura de planta y extracción total de materia seca).
- d) En situaciones como sequías, problemas de plagas y enfermedades u adversidades diversas, una nutrición óptima en cuanto a nitrógeno y fósforo resulta imprescindible en el cultivo de chía. Ello, debido al efecto altamente significativo de estos elementos nutricionales en el vigor de plantas.

## **X. RECOMENDACIONES**

Se recomienda:

- a) Repetir el ensayo en condiciones de campo para evaluar los efectos de la exclusión de elementos en el rendimiento del cultivo.
- b) Repetir la fase experimental, pero considerando una ausencia de calcio entre los tratamientos. Asimismo, que se evalúe una extracción de este elemento.
- c) Repetir el ensayo, reemplazando el agua de la UNALM proveniente de Huachipa, por agua destilada, para realizar el riego.
- d) Realizar el trabajo experimental en condiciones de campo.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Adriano, C.; M. Paulsen y Murphy, S. 1971. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn seedling as affected by mineral nutrition. *Agronomy J.* 36: 36 – 39 pp
2. AGRODATAPERU. Semillas, Chía, Jojoba, varios Perú Exportación 2016. <http://www.agrodataperu.com/2016/09/semillas-chia-jojoba-varios-peru-exportacion-2016.html>. Consultado el 28 de septiembre 2016
3. Alfaro, F. y H. Silva. 2013. Determinación de umbrales de respuestas fisiológicas e identificación de mecanismos de tolerancia al déficit hídrico en cuatro accesiones de Chía (*Salvia hispánica* L.). [En línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: <http://chia.uchile.cl/docs/estudios/Francisco%20Alfaro%20y%20Herman%20Silva.pdf> Consultado el: 10 de diciembre de 2014.
4. Alister, S.; C. Baginsky y H. Silva. 2014. Efecto de la disponibilidad de agua en el crecimiento de la chía (*Salvia hispánica* L.). (pp. 55). En: Congreso de la Sociedad Agronómica de Chile (65°, 27 a 29 de octubre de 2014, Santiago, Chile). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 166p.
5. Alister, S.; M. Quezeda; C. Baginsky; L. Morales y H. Silva. 2013. Respuestas fisiológicas de plantas de chía (*Salvia hispánica* L.) al déficit hídrico de plantas durante la fase de crecimiento vegetativo. (pp. 95). En: Congreso sociedad agronómica de Chile (64°, 23, 24, 25 y 26 de septiembre 2013, Viña del Mar, Chile) y XXII Congreso Chileno de fitopatología. Libro de resúmenes. Eds. Besoain, X.; M. Castro; G. Flores y C. Torres. Viña del Mar, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 283p.
6. Almndáriz, P. 2012. Evaluación Agronómica del cultivo de Chía (*Salvia hispánica* L) con dos densidades de siembra y tres tipos de fertilizante orgánico, en san pablo de Atenas, provincia bBolívar. Tesis de grado. Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador.

7. Alvario, S. 2013. Estudio de adaptabilidad y densidades de siembra del cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.), en la zona de Babahoyo, provincial de los Ríos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Babahoyo, Ecuador: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad técnica de Babahoyo. 44p.
8. Andres Azabache C, fertilidad de suelos para una agricultura sostenible. 2003.
9. Ayerza, R. 2013. Seed composition of two chia (*Salvia hispánica* L.) genotypes wich differ in seed color. Emirates Journal of Food and Agricultural25(7): 495-500.
10. Ayerza, R. and W. Coates. 1996. Production potential of chia in northwestern Argentina. Industrial Crops and Products 5: 229-233.
11. Ayerza, R. and W. Coates. 1996. Production potential of chia in northwestern Argentina. Industrial Crops and Products 5: 229-233.
12. Ayerza, R. and W. Coates. 2000. Dietary levels of chia: influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens. Poultry Science79: 724- 739.
13. Ayerza, R. and W. Coates. 2001. Omega-3 enriched eggs: the influence of dietarylinolenic fatty acid source on egg production and composition. Canadian Journal of Animal Science 355-362.
14. Ayerza, R. and W. Coates. 2009. Some quality components of four Chia (*Salvia hispánica* L.) genotypes grown under tropical coastal desert ecosystem conditions. Asian Journal of Plant Sciences 8 (4): 301 – 307.
15. Ayerza, R. y W. Coates. 2006. El renacimiento de la chía (Cap. 4, pp.91-114). En su: Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas.1a. ed. Buenos Aires, Argentina: Del Nuevo Extremo. 205p
16. Baeyens, J. 1970. Nutrición de las Plantas Cultivadas. Versión J. Mateo Box. Ed. Lemos. Madrid, España.
17. Baginsky, C.; J. Arenas, H. Escobar, M. Garrido, N. Valero, D. Tello, L. Pizarro, L. Morales, H. Silva. 2014. Determinación de fecha de siembra óptima de chía en zonas de clima desértico (Anexo I, 15p.). En su: Proyecto Fondecyt: Effect of soil and climatic conditions in the physiology and metabolism secondary in *Salvia hispánica*

- L., natural source of omega 3 fatty acids (Inf. Téc. 2013). Chile: Fondecyt (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica).
18. Baker, A. 1980. Fenómenos de Transporte en las Plantas. Edic. Omega – S. A. Barcelona, España. 67 p.
  19. Baldwin, P. 1975. A quantitative analysis of the factors affecting plant nutrient uptake from some soils. *Journal of soil Sci.* 26(3): 196-206.
  20. Barcello, J. 1980. Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide S.A. Madrid, España. 750 p.
  21. Barcello, J.; G. Nicolas; B. Sabater; Y R. Sanchez. 1988. Fisiología Vegetal. Ed. Piramide S.A. Madrid, España.
  22. Beltrán-Orozco M C, Romero M R (2003). Chía, alimento milenario. *Rev Ind Alim*, septiembre/octubre: 20-29
  23. Bendaña G. 2012. Cultivos de alto valor nutritivo, no tradicionales y en las zonas secas y con potencial agroindustrial. (Cap. 13, pp. 138 – 142). En su: Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Managua, Nicaragua: ACF (Acción contra el Hambre), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y ECHO (Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea). 288p.
  24. Bidwell, G. 1979. Fisiología Vegetal. Madrid, España. 485 p.
  25. Bochicchio, R.; T. Philips; S. Lovelli; R. Labella; F. Galgano; A. Di Marisco; M. Perniola and M. Amato. 2015. Innovative Crop Productions for Healthy Food: The Case of Chia (*Salvia hispánica* L.). Chapter The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin. pp 29-45
  26. Bueno, M.; O. Di Sapia; M. Barolo; H. Busilacchi; M. Quiroga y M. Severin. 2010. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 221-227p.
  27. Bushway A, Belyea PR, Bushway RJ. 1981. Chia seed as a source of oil, polysaccharide, and protein, *J Food Sci* 46: 1349-1350

28. Busilacchi, H.; M. Quiroga; M. Bueno; O. Di Sapiro; V. Flores y C. Severin. 2013. Evaluación de *Salvia hispánica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (Argentina). *Cultivos Tropicales* 34(4): 55-59.
29. Cahill JP (2004) Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispánica* L.). *Genet Resour Crop Evol* 51:773–781
30. Cahill, J. 2005. Human selection and domestication of chia (*Salvia hispánica* L.). *Journal of Ethnobiology* 25(2): 155-174.
31. Chapman, D. y F. Pratt, 1973. Método de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Centro Regional de Ayuda Técnica A.I.D. Ed. Trillas, México. 193 p.
32. Chapman, D. y F. Pratt, 1979. Método de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Ed. Trillas, México. 195 p.
33. CICH (2009). Corporación Internacional Chia S.A. (FALTA PONER INFORMACION EN GENERALIDADES)
34. Coates, W. 2011. Whole and ground chía (*Salvia hispánica* L.) seeds, chía oil e effects on plasma lipids and fatty acids. (Cap. 37, pp. 309 – 315). In: Preedy, V.; R. Watson and V. Patel (Eds.). *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Londres, Gran Bretaña: Academic press 1226p.
35. Crocomo, O. 1965. Absorción de Iones por las Plantas. Universidad de Zulia. Facultad de Agronomía. Maracaibo. 188 p.
36. De Kartzow, A. 2013. Estudio de pre factibilidad técnico - económica del cultivo de Chía (*Salvia hispánica* L.) en Chile. Informe Técnico. Universidad Católica de Valparaíso. 103p.
37. Demolón, A. 1966. Crecimiento de los vegetales cultivados. Principio de Agronomía. Tomo II. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 650 p.
38. Devlin, M. 1976. Fisiología Vegetal. Edic. Omega S.A. Barcelona, España. 517p.
39. Di Sapiro OA, Bueno M, Busilacchi H, Quiroga M y Severin C. 2012. Caracterización Morfoanatómica de Hoja, Tallo; Fruto y Semilla de *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 11 (3): 249-268

40. EFSA (European food safety authority). 2009. Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from the European Commission on the safety of 'chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole chia seed' as a food ingredient. The EFSA Journal 996: 1–2.
41. Embajada de Perú en Estados Unidos. 2012. Inteligencia de Mercado: EE.UU. [http://www.rree.gob.pe/promocioneconomica/Documents/Inteligencia\\_de\\_Mercado\\_05-2012.pdf](http://www.rree.gob.pe/promocioneconomica/Documents/Inteligencia_de_Mercado_05-2012.pdf). Consultado el 28 de septiembre 2016
42. FAO y Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 2002. Los Fertilizantes y su Uso. Cuarta edición. Roma, Italia. 77 p.
43. **FAO. 2010.** Organización para la Alimentación y la Agricultura. [www.fao.org](http://www.fao.org).
44. Fassbender, W. 1978. Química de los Suelos con énfasis en los Suelos de Latinoamérica. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 398 p.
45. Gonzales, G. 2014. Desarrollo Institucional para la Inversión. Proyecto UTF/ARG/017/ARG. 73 pp
46. Gros, A. y Domínguez, A. 1981. Guía Práctica de la Fertilización. Ed. Mundi Prensa. España. 559 p.
47. Guiotto, N. 2014. Aplicación de Subproductos de Chía (*Salvia hispánica* L.) y Girasol (*Helianthus annuus* L.) en Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas, Departamento Química, Universidad Nacional de la Plata.
48. Gutierrez - Rosati, A. 2004. Información biomorfológica de la “Chía” *Salvia hispánica* L. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú. 14p.
49. Hernandez, J. y S. Miranda. 2008. Caracterización morfológica de la Chía (*Salvia hispánica* L.). Rev. Fitotec. Mex. 31(2): 105 – 113.
50. Hernández-Gomez, J.; S. Miranda-Colín y A. Peña-Lomelí. 2008. Cruzamiento natural de chía (*Salvia hispánica* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 14(3): 331-337.
51. Heuer, B.; Z. Yaniv and I. Ravina. 2002. Effect of late salinization of chia (*Salvia hispánica* L.), stock (*Matthiola tricuspidata*) and evening primrose (*Oenothera biennis*) on their oil content and quality. Industrial Crops and Products 15: 163-167.
52. Hicks S, 1966. Desert plants and people. Naylor, San Antonio, USA.

53. Hildebrand, D.; W. Jamboonsri and T. Phillips. 2013. Early flowering chia and uses thereof. University of Kentucky research foundation. US 20130007909 A1. 800/276; 800/298; 435/419. Estados Unidos: University of Kentucky. 30 de octubre de 2009. 12p.
54. [http://www.quiagrall.com/Rol%20de%20los%20microelementos%20en%20los%20cultivos\\_QUIAGRAL.pdf](http://www.quiagrall.com/Rol%20de%20los%20microelementos%20en%20los%20cultivos_QUIAGRAL.pdf)
55. IAEA-FAO. 1976. Tracer Manual on crops and soils ion uptake. Technical report series N° 171. Int. Atomic agency. Viena. 163-175 p.
56. Instituto de la Potasa y el Fosforo. 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. INPOFOS. Quito, Ecuador.
57. Jamboonsri, W.; T. Phillips; R. Geneve; J. Cahill and D. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L. a new w3 source. Genet. Resour.Crop.Evol. 59: 171 – 178.
58. L'annunziata, F. 1979. Radiotracers in agricultural chemistry. Academia Press. London Mew Cork. 536 p.
59. La República. 2015. Sobreproducción detiene el boom del cultivo de chía. <http://larepublica.pe/07-02-2015/sobreproduccion-detiene-el-boom-del-cultivo-de-la-chia>. Consultado el 28 de septiembre 2016
60. Lamas, M. La chía, un cultivo muy rentable. El economista. [En línea]. México. 19 de Marzo de 2013. Recuperado en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/03/19/chia-cultivo-muy-rentable>. Consultado el: 27 de Septiembre 2016.
61. López J.; y J. López. 1978. El diagnostico de suelos y plantas. Tercera Edición. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 337 p.
62. Loué, A. 1988. Los microelementos en la Agricultura. Versión española de Alonso Domínguez V. Ediciones Mundi Prensa – Madrid, España.
63. Malavolta. E; G. Vitti; y De Oliveira, S.1989. Evaluación del Estado Nutricional de las Plantas. Asociación Brasileña para la Investigación del Potasio y Fosfato. Piracicaba, Brasil. 200 p.

64. Marschner, H. 1997. Mineral Nutrition of higher Plants. Academic Press Inc. Londres, Gran Bretaña. 674 p.
65. Mengel, K.; y Kirkby, E. 1978. Principles of Plant Nutrition. Der Bund A. G., Bern.
66. Miranda F, 2012. Guía técnica para el manejo del cultivo de Chía (*Salvia hispana*) en Nicaragua, CECOOPSEMEIN RL, Sebaco.
67. Moraghan, T. 1985. Plant tissue testing for micronutrient deficiencies and toxicities. In: VLEK (Ed). Micronutrients in tropical food crop production. Martinus – Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Boston Lancaster. 201 – 219 p
68. Navarro, G. 2003. Química Agrícola. Segunda Edición. Ed. Mundi Prensa. Madrid, Barcelona y México. 438 p
69. Orozco, G. 1993. Evaluación de herbicidas para el control de malezas en chía (*Salvia hispánica* L.) en condiciones de temporal, en Acatic, Jal. Tesis Ingeniero Agrónomo. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. 92h.
70. Pascual, M.; E. Correal; E. Molina; J. Martínez; E. López y F. Aguirre. 1997. Evaluación y selección de especies vegetales productoras de compuestos naturales con actividad insecticida. 6p.
71. Pizarro, L. 2014. Caracterización Fenológica y Rendimiento de Dos Genotipos de Chia (*Salvia hispánica* L.) en el Valle de Azapa, Región Arica y Parinacota. Universidad de Tarapacá 2014. 88 pp
72. Pozo, S. 2010. Alternativas para el control químico de malezas anuales en el cultivo de la chía (*Salvia hispánica* L.) en la granja ECAA, provincia de Imbabura. Tesis Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, Ecuador: Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales E.C.A.A.: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 113h.
73. PROEXPANSIÓN, 2014. La chía, semilla milagrosa. <http://proexpansion.com/es/articles/439-la-chia-semillamilagrosa>. Consultado el 28 de septiembre 2016
74. Rovati, A., E. Escobar y C. Prado. 2012. Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispánica* L.). Avance Agroindustrial 33 (3):39-43
75. Salisbury, B.; y C. Ross, 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamerica. Mexico. 759 p.

76. Sandoval, M. and Pérez, O. Isolation and characterization of proteins from Chia seeds (*Salvia hispánica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(1): 193-201.
77. Stevenson, F. 1982. Nitrogen in Agricultural Soils. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America Society of America. Wisconsin, USA. 940 p.
78. Tello, D. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chíá blanca (*Salvia hispánica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 33h.
79. Thompson, L.; y F. Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. Cuarta Edición. Ed. Reverté, S.A. 639 p
80. Tisdale S. y W. Nelson. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. Uthea. México, D.F., 790 P.
81. Valero, N. 2014. Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chíá oscura (*Salvia hispánica* L.) establecida en la localidad de Las Cruces, Provincia de San Antonio. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 38h.
82. Vásquez-Ovando, A.; G. Rosado-Rubio.; D. Betancur-Ancona y L. Chel-Guerrero. 2007. Propiedades Fisicoquímicas y Funcionales de un Producto Proteínico de Chíá (*Salvia hispánica* L). (pp. 146 – 153). En: Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de los alimentos. (9<sup>a</sup>, 31 de mayo y 1 de junio, Guanajuato).
83. Villegas, D. 2013. Efecto de la aplicación de herbicidas sobre el rendimiento en chíá (*Salvia hispánica* L.) en Santiago, Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 39 P.
84. Zuñiga, H. 2014. Biología de la Chíá (*Salvia hispánica* L.). Memoria de título. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

## XII. ANEXOS

### Anexo 1: Número de inflorescencias, por tratamiento

| TRATAMIENTO | REPETICIÓN |    |     |    | PROMEDIO |
|-------------|------------|----|-----|----|----------|
|             | I          | II | III | IV |          |
| T1          | 7          | 10 | 8   | 7  | 8.00     |
| T2          | 11         | 12 | 7   | 4  | 8.50     |
| T3          | 27         | 24 | 23  | 29 | 25.75    |
| T4          | 26         | 29 | 31  | 30 | 29.00    |
| T5          | 21         | 27 | 32  | 22 | 25.50    |
| T6          | 27         | 28 | 30  | 31 | 29.00    |
| T7          | 4          | 7  | 5   | 5  | 5.25     |
| T8          | 33         | 37 | 18  | 23 | 27.75    |

**Anexo 2: Biomasa total (g.) según tratamiento**

| TRATAMIENTO | MATERIA SECA AÉREA |      |      |       | PROMEDIO | MATERIA SECA RADICULAR |      |      |      | PROMEDIO | BIOMASA TOTAL (g) |       |       |       | PROMEDIO TOTAL |
|-------------|--------------------|------|------|-------|----------|------------------------|------|------|------|----------|-------------------|-------|-------|-------|----------------|
|             | I                  | II   | III  | IV    |          | I                      | II   | III  | IV   |          | I                 | II    | III   | IV    |                |
| T1          | 2.42               | 2.75 | 2.58 | 2.04  | 2.45     | 0.69                   | 0.59 | 0.48 | 0.37 | 0.53     | 3.11              | 3.34  | 3.06  | 2.42  | 2.98           |
| T2          | 2.32               | 2.84 | 1.62 | 0.95  | 1.93     | 0.51                   | 0.41 | 0.41 | 0.33 | 0.41     | 2.84              | 3.25  | 2.03  | 1.27  | 2.35           |
| T3          | 8.58               | 7.62 | 7.60 | 8.09  | 7.97     | 1.10                   | 0.91 | 1.18 | 1.11 | 1.08     | 9.68              | 8.54  | 8.78  | 9.19  | 9.05           |
| T4          | 8.03               | 8.50 | 8.95 | 10.81 | 9.07     | 1.29                   | 1.37 | 1.70 | 1.93 | 1.57     | 9.31              | 9.87  | 10.65 | 12.74 | 10.64          |
| T5          | 7.35               | 7.78 | 8.04 | 6.95  | 7.53     | 1.00                   | 1.59 | 1.15 | 1.32 | 1.27     | 8.35              | 9.38  | 9.19  | 8.27  | 8.80           |
| T6          | 9.45               | 8.88 | 9.61 | 9.38  | 9.33     | 1.82                   | 1.33 | 1.45 | 1.20 | 1.45     | 11.27             | 10.20 | 11.06 | 10.58 | 10.78          |
| T7          | 1.36               | 1.38 | 1.32 | 1.03  | 1.27     | 0.77                   | 0.87 | 0.45 | 0.46 | 0.64     | 2.12              | 2.25  | 1.78  | 1.48  | 1.91           |
| T8          | 10.40              | 9.86 | 6.09 | 8.12  | 8.62     | 1.52                   | 1.26 | 0.92 | 1.40 | 1.28     | 11.92             | 11.13 | 7.00  | 9.52  | 9.89           |

### Anexo 3: Niveles de extracción de nitrógeno en los diferentes tratamientos

| N° | TRATAMIENTO              | REPETICIÓN      | M. S. AÉREA | % N         | EXTRACCIÓN "N" AÉREO | M. S RADICULAR | % N         | EXTRACCIÓN "N" RADICULAR | EXTRACCIÓN TOTAL |
|----|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|--------------------------|------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno (-N)       | I               | 2.42        | 1.20        | 29.16                | 0.69           | 1.15        | 7.91                     | 37.07            |
|    |                          | II              | 2.75        | 2.04        | 56.13                | 0.59           | 1.18        | 6.99                     | 63.11            |
|    |                          | III             | 2.58        | 2.80        | 72.18                | 0.48           | 1.18        | 5.68                     | 77.86            |
|    |                          | IV              | 2.04        | 2.46        | 50.36                | 0.37           | 1.15        | 4.28                     | 54.65            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b> | <b>2.13</b> | <b>51.96</b>         | <b>0.53</b>    | <b>1.16</b> | <b>6.21</b>              | <b>58.17</b>     |
| 2  | Sin Fosforo (-P)         | I               | 2.32        | 4.96        | 115.18               | 0.51           | 2.49        | 12.78                    | 127.96           |
|    |                          | II              | 2.84        | 5.12        | 145.27               | 0.41           | 2.49        | 10.27                    | 155.53           |
|    |                          | III             | 1.62        | 5.26        | 85.38                | 0.41           | 2.49        | 10.12                    | 95.50            |
|    |                          | IV              | 0.95        | 4.82        | 45.51                | 0.33           | 2.49        | 8.15                     | 53.66            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b> | <b>5.04</b> | <b>97.83</b>         | <b>0.41</b>    | <b>2.49</b> | <b>10.33</b>             | <b>108.16</b>    |
| 3  | Sin Potasio (-K)         | I               | 8.58        | 4.76        | 408.36               | 1.10           | 2.46        | 27.15                    | 435.51           |
|    |                          | II              | 7.62        | 4.65        | 354.32               | 0.91           | 2.32        | 21.24                    | 375.56           |
|    |                          | III             | 7.60        | 4.70        | 357.69               | 1.18           | 2.32        | 27.42                    | 385.12           |
|    |                          | IV              | 8.09        | 4.23        | 341.88               | 1.11           | 2.49        | 27.54                    | 369.41           |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b> | <b>4.59</b> | <b>365.56</b>        | <b>1.08</b>    | <b>2.40</b> | <b>25.84</b>             | <b>391.40</b>    |
| 4  | Sin Magnesio (-Mg)       | I               | 8.03        | 4.40        | 352.78               | 1.29           | 2.18        | 28.11                    | 380.89           |
|    |                          | II              | 8.50        | 4.17        | 354.66               | 1.37           | 2.21        | 30.19                    | 384.86           |
|    |                          | III             | 8.95        | 3.92        | 350.80               | 1.70           | 1.79        | 30.43                    | 381.23           |
|    |                          | IV              | 10.81       | 4.40        | 475.12               | 1.93           | 2.02        | 38.93                    | 514.05           |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b> | <b>4.22</b> | <b>383.34</b>        | <b>1.57</b>    | <b>2.05</b> | <b>31.91</b>             | <b>415.26</b>    |
| 5  | Sin Azufre (-S)          | I               | 7.35        | 4.48        | 329.28               | 1.00           | 2.24        | 22.40                    | 351.68           |
|    |                          | II              | 7.78        | 4.68        | 363.98               | 1.59           | 2.07        | 33.03                    | 397.01           |
|    |                          | III             | 8.04        | 4.73        | 380.31               | 1.15           | 2.44        | 27.99                    | 408.30           |
|    |                          | IV              | 6.95        | 4.40        | 305.39               | 1.32           | 2.04        | 27.02                    | 332.41           |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b> | <b>4.57</b> | <b>344.74</b>        | <b>1.27</b>    | <b>2.20</b> | <b>27.61</b>             | <b>372.35</b>    |
| 6  | Sin Microelementos (-ME) | I               | 9.45        | 4.20        | 396.86               | 1.82           | 1.74        | 31.66                    | 428.52           |
|    |                          | II              | 8.88        | 4.06        | 360.37               | 1.33           | 2.49        | 33.04                    | 393.41           |
|    |                          | III             | 9.61        | 3.89        | 374.14               | 1.45           | 2.07        | 30.06                    | 404.20           |
|    |                          | IV              | 9.38        | 4.09        | 383.25               | 1.20           | 2.21        | 26.63                    | 409.88           |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b> | <b>4.06</b> | <b>378.65</b>        | <b>1.45</b>    | <b>2.13</b> | <b>30.35</b>             | <b>409.00</b>    |
| 7  | Testigo (0-0-0)          | I               | 1.36        | 2.66        | 36.10                | 0.77           | 1.04        | 7.94                     | 44.03            |
|    |                          | II              | 1.38        | 2.21        | 30.61                | 0.87           | 0.92        | 7.99                     | 38.61            |
|    |                          | III             | 1.32        | 2.58        | 34.11                | 0.45           | 0.92        | 4.19                     | 38.29            |
|    |                          | IV              | 1.03        | 2.55        | 26.19                | 0.46           | 1.01        | 4.60                     | 30.79            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>5.09</b> | <b>2.50</b> | <b>31.75</b>         | <b>0.64</b>    | <b>0.97</b> | <b>6.18</b>              | <b>37.93</b>     |
| 8  | Completo                 | I               | 10.40       | 4.42        | 460.05               | 1.52           | 1.43        | 21.76                    | 481.81           |
|    |                          | II              | 9.86        | 4.23        | 416.97               | 1.26           | 1.26        | 15.93                    | 432.89           |
|    |                          | III             | 6.09        | 4.87        | 296.46               | 0.92           | 1.46        | 13.32                    | 309.78           |
|    |                          | IV              | 8.12        | 4.70        | 381.92               | 1.40           | 1.26        | 17.68                    | 399.60           |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b> | <b>4.56</b> | <b>388.85</b>        | <b>1.28</b>    | <b>1.35</b> | <b>17.17</b>             | <b>406.02</b>    |

#### Anexo 4: Niveles de extracción de fósforo en los diferentes tratamientos

| N° | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN      | M. S.<br>AÉREA | %<br>P      | EXTRACCIÓN "P"<br>AÉREO | M. S<br>RADICULAR | %<br>P      | EXTRACCIÓN "P"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|----|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I               | 2.42           | 0.39        | 9.45                    | 0.69              | 0.11        | 0.76                        | 10.20               |
|    |                             | II              | 2.75           | 0.40        | 10.98                   | 0.59              | 0.15        | 0.89                        | 11.88               |
|    |                             | III             | 2.58           | 0.37        | 9.54                    | 0.48              | 0.15        | 0.72                        | 10.26               |
|    |                             | IV              | 2.04           | 0.37        | 7.56                    | 0.37              | 0.11        | 0.41                        | 7.97                |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b>    | <b>0.38</b> | <b>9.38</b>             | <b>0.53</b>       | <b>0.13</b> | <b>0.70</b>                 | <b>10.08</b>        |
| 2  | Sin Fosforo<br>(-P)         | I               | 2.32           | 0.27        | 6.27                    | 0.51              | 0.20        | 1.03                        | 7.30                |
|    |                             | II              | 2.84           | 0.28        | 7.94                    | 0.41              | 0.20        | 0.82                        | 8.76                |
|    |                             | III             | 1.62           | 0.31        | 5.03                    | 0.41              | 0.20        | 0.81                        | 5.84                |
|    |                             | IV              | 0.95           | 0.34        | 3.21                    | 0.33              | 0.20        | 0.65                        | 3.87                |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b>    | <b>0.30</b> | <b>5.61</b>             | <b>0.41</b>       | <b>0.20</b> | <b>0.83</b>                 | <b>6.44</b>         |
| 3  | Sin Potasio<br>(-K)         | I               | 8.58           | 0.22        | 18.87                   | 1.10              | 0.18        | 1.98                        | 20.86               |
|    |                             | II              | 7.62           | 0.23        | 17.53                   | 0.91              | 0.17        | 1.55                        | 19.09               |
|    |                             | III             | 7.60           | 0.25        | 19.01                   | 1.18              | 0.18        | 2.12                        | 21.13               |
|    |                             | IV              | 8.09           | 0.22        | 17.79                   | 1.11              | 0.23        | 2.54                        | 20.33               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b>    | <b>0.23</b> | <b>18.30</b>            | <b>1.08</b>       | <b>0.19</b> | <b>2.05</b>                 | <b>20.35</b>        |
| 4  | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I               | 8.03           | 0.23        | 18.46                   | 1.29              | 0.19        | 2.45                        | 20.90               |
|    |                             | II              | 8.50           | 0.23        | 19.55                   | 1.37              | 0.17        | 2.32                        | 21.87               |
|    |                             | III             | 8.95           | 0.21        | 18.79                   | 1.70              | 0.19        | 3.23                        | 22.02               |
|    |                             | IV              | 10.81          | 0.28        | 30.26                   | 1.94              | 0.27        | 5.25                        | 35.51               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b>    | <b>0.24</b> | <b>21.77</b>            | <b>1.57</b>       | <b>0.21</b> | <b>3.31</b>                 | <b>25.08</b>        |
| 5  | Sin Azufre<br>(-S)          | I               | 7.35           | 0.16        | 11.76                   | 1.00              | 0.17        | 1.70                        | 13.46               |
|    |                             | II              | 7.78           | 0.22        | 17.12                   | 1.59              | 0.17        | 2.71                        | 19.83               |
|    |                             | III             | 8.04           | 0.21        | 16.88                   | 1.15              | 0.21        | 2.41                        | 19.29               |
|    |                             | IV              | 6.95           | 0.17        | 11.81                   | 1.32              | 0.17        | 2.25                        | 14.06               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b>    | <b>0.19</b> | <b>14.40</b>            | <b>1.27</b>       | <b>0.18</b> | <b>2.27</b>                 | <b>16.66</b>        |
| 6  | Sin Microelementos<br>(-ME) | I               | 9.45           | 0.21        | 19.84                   | 1.82              | 0.16        | 2.92                        | 22.76               |
|    |                             | II              | 8.88           | 0.20        | 17.75                   | 1.33              | 0.19        | 2.52                        | 20.27               |
|    |                             | III             | 9.61           | 0.18        | 17.30                   | 1.45              | 0.24        | 3.48                        | 20.79               |
|    |                             | IV              | 9.38           | 0.18        | 16.88                   | 1.20              | 0.16        | 1.93                        | 18.80               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b>    | <b>0.19</b> | <b>17.94</b>            | <b>1.45</b>       | <b>0.19</b> | <b>2.71</b>                 | <b>20.65</b>        |
| 7  | Testigo<br>(0-0-0)          | I               | 1.36           | 0.23        | 3.12                    | 0.77              | 0.17        | 1.30                        | 4.42                |
|    |                             | II              | 1.38           | 0.22        | 3.04                    | 0.87              | 0.23        | 1.99                        | 5.03                |
|    |                             | III             | 1.32           | 0.24        | 3.18                    | 0.45              | 0.23        | 1.04                        | 4.22                |
|    |                             | IV              | 1.03           | 0.25        | 2.57                    | 0.46              | 0.12        | 0.55                        | 3.12                |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.27</b>    | <b>0.24</b> | <b>2.98</b>             | <b>0.64</b>       | <b>0.19</b> | <b>1.22</b>                 | <b>4.20</b>         |
| 8  | Completo                    | I               | 10.40          | 0.24        | 24.96                   | 1.52              | 0.20        | 3.05                        | 28.01               |
|    |                             | II              | 9.86           | 0.17        | 16.77                   | 1.26              | 0.17        | 2.15                        | 18.91               |
|    |                             | III             | 6.09           | 0.32        | 19.47                   | 0.92              | 0.18        | 1.65                        | 21.12               |
|    |                             | IV              | 8.12           | 0.22        | 17.86                   | 1.40              | 0.21        | 2.95                        | 20.81               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b>    | <b>0.24</b> | <b>19.76</b>            | <b>1.28</b>       | <b>0.19</b> | <b>2.45</b>                 | <b>22.21</b>        |

### Anexo 5: Niveles de extracción de potasio en los diferentes tratamientos

| N° | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN      | M. S.<br>AÉREA | %<br>K      | EXTRACCIÓN "K"<br>AÉREO | M. S.<br>RADICULAR | %<br>K      | EXTRACCIÓN "K"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|----|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I               | 2.42           | 5.15        | 124.73                  | 0.69               | 0.19        | 1.31                        | 126.04              |
|    |                             | II              | 2.75           | 4.45        | 122.20                  | 0.59               | 0.21        | 1.25                        | 123.44              |
|    |                             | III             | 2.58           | 4.30        | 110.85                  | 0.48               | 0.21        | 1.01                        | 111.87              |
|    |                             | IV              | 2.04           | 3.13        | 63.98                   | 0.37               | 0.19        | 0.71                        | 64.69               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b>    | <b>4.26</b> | <b>105.44</b>           | <b>0.53</b>        | <b>0.20</b> | <b>1.07</b>                 | <b>106.51</b>       |
| 2  | Sin Fosforo<br>(-P)         | I               | 2.32           | 2.96        | 68.79                   | 0.51               | 0.25        | 1.28                        | 70.07               |
|    |                             | II              | 2.84           | 3.65        | 103.48                  | 0.41               | 0.19        | 0.78                        | 104.26              |
|    |                             | III             | 1.62           | 2.60        | 42.17                   | 0.41               | 0.19        | 0.77                        | 42.94               |
|    |                             | IV              | 0.95           | 3.21        | 30.33                   | 0.33               | 0.25        | 0.82                        | 31.15               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b>    | <b>3.11</b> | <b>61.19</b>            | <b>0.41</b>        | <b>0.22</b> | <b>0.91</b>                 | <b>62.11</b>        |
| 3  | Sin Potasio<br>(-K)         | I               | 8.58           | 1.25        | 107.24                  | 1.10               | 0.16        | 1.76                        | 109.00              |
|    |                             | II              | 7.62           | 1.45        | 110.53                  | 0.91               | 0.18        | 1.65                        | 112.18              |
|    |                             | III             | 7.60           | 1.31        | 99.61                   | 1.18               | 0.14        | 1.65                        | 101.26              |
|    |                             | IV              | 8.09           | 0.84        | 67.92                   | 1.11               | 0.18        | 1.99                        | 69.91               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b>    | <b>1.21</b> | <b>96.33</b>            | <b>1.08</b>        | <b>0.17</b> | <b>1.76</b>                 | <b>98.09</b>        |
| 4  | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I               | 8.03           | 2.41        | 193.40                  | 1.29               | 0.37        | 4.76                        | 198.16              |
|    |                             | II              | 8.50           | 2.47        | 209.97                  | 1.37               | 0.21        | 2.87                        | 212.84              |
|    |                             | III             | 8.95           | 2.41        | 215.67                  | 1.70               | 0.24        | 4.08                        | 219.75              |
|    |                             | IV              | 10.81          | 2.43        | 262.63                  | 1.93               | 0.25        | 4.83                        | 267.46              |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b>    | <b>2.43</b> | <b>220.42</b>           | <b>1.57</b>        | <b>0.27</b> | <b>4.13</b>                 | <b>224.55</b>       |
| 5  | Sin Azufre<br>(-S)          | I               | 7.35           | 2.34        | 171.99                  | 1.00               | 0.30        | 3.00                        | 174.99              |
|    |                             | II              | 7.78           | 2.93        | 228.07                  | 1.59               | 0.16        | 2.55                        | 230.62              |
|    |                             | III             | 8.04           | 2.46        | 197.71                  | 1.15               | 0.21        | 2.41                        | 200.12              |
|    |                             | IV              | 6.95           | 2.79        | 193.82                  | 1.32               | 0.17        | 2.25                        | 196.07              |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b>    | <b>2.63</b> | <b>197.90</b>           | <b>1.27</b>        | <b>0.21</b> | <b>2.55</b>                 | <b>200.45</b>       |
| 6  | Sin Microelementos<br>(-ME) | I               | 9.45           | 2.54        | 240.00                  | 1.82               | 0.30        | 5.47                        | 245.48              |
|    |                             | II              | 8.88           | 2.50        | 221.90                  | 1.33               | 0.19        | 2.52                        | 224.42              |
|    |                             | III             | 9.61           | 2.42        | 232.63                  | 1.45               | 0.23        | 3.34                        | 235.97              |
|    |                             | IV              | 9.38           | 1.92        | 180.00                  | 1.20               | 0.19        | 2.29                        | 182.29              |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b>    | <b>2.35</b> | <b>218.63</b>           | <b>1.45</b>        | <b>0.23</b> | <b>3.40</b>                 | <b>222.04</b>       |
| 7  | Testigo<br>(0-0-0)          | I               | 1.36           | 2.74        | 37.18                   | 0.77               | 0.75        | 5.75                        | 42.93               |
|    |                             | II              | 1.38           | 2.61        | 36.12                   | 0.87               | 0.61        | 5.28                        | 41.40               |
|    |                             | III             | 1.32           | 2.57        | 34.03                   | 0.45               | 0.61        | 2.76                        | 36.79               |
|    |                             | IV              | 1.03           | 3.04        | 31.25                   | 0.46               | 0.50        | 2.28                        | 33.53               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.27</b>    | <b>2.74</b> | <b>34.65</b>            | <b>0.64</b>        | <b>0.62</b> | <b>4.02</b>                 | <b>38.66</b>        |
| 8  | Completo                    | I               | 10.40          | 2.45        | 254.78                  | 1.52               | 0.39        | 5.94                        | 260.72              |
|    |                             | II              | 9.86           | 2.62        | 258.38                  | 1.26               | 0.21        | 2.65                        | 261.04              |
|    |                             | III             | 6.09           | 2.95        | 179.51                  | 0.92               | 0.24        | 2.20                        | 181.70              |
|    |                             | IV              | 8.12           | 2.78        | 225.71                  | 1.40               | 0.48        | 6.73                        | 232.44              |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b>    | <b>2.70</b> | <b>229.59</b>           | <b>1.28</b>        | <b>0.33</b> | <b>4.38</b>                 | <b>233.98</b>       |

### Anexo 6: Niveles de extracción de magnesio en los diferentes tratamientos

| Nº | TRATAMIENTO              | REPETICIÓN      | M. S. AÉREA | % Mg        | EXTRACCIÓN "Mg" AÉREO | M. S RADICULAR | % Mg        | EXTRACCIÓN "Mg" RADICULAR | EXTRACCIÓN TOTAL |
|----|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|---------------------------|------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno (-N)       | I               | 2.42        | 0.83        | 20.10                 | 0.69           | 0.28        | 1.93                      | 22.03            |
|    |                          | II              | 2.75        | 0.72        | 19.77                 | 0.59           | 0.33        | 1.96                      | 21.73            |
|    |                          | III             | 2.58        | 0.81        | 20.88                 | 0.48           | 0.33        | 1.59                      | 22.48            |
|    |                          | IV              | 2.04        | 0.78        | 15.94                 | 0.37           | 0.28        | 1.04                      | 16.99            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b> | <b>0.79</b> | <b>19.17</b>          | <b>0.53</b>    | <b>0.31</b> | <b>1.63</b>               | <b>20.81</b>     |
| 2  | Sin Fosforo (-P)         | I               | 2.32        | 0.54        | 12.55                 | 0.51           | 0.34        | 1.74                      | 14.29            |
|    |                          | II              | 2.84        | 0.52        | 14.74                 | 0.41           | 0.32        | 1.32                      | 16.06            |
|    |                          | III             | 1.62        | 0.51        | 8.27                  | 0.41           | 0.32        | 1.30                      | 9.57             |
|    |                          | IV              | 0.95        | 0.54        | 5.10                  | 0.33           | 0.34        | 1.11                      | 6.21             |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b> | <b>0.53</b> | <b>10.17</b>          | <b>0.41</b>    | <b>0.33</b> | <b>1.37</b>               | <b>11.54</b>     |
| 3  | Sin Potasio (-K)         | I               | 8.58        | 0.86        | 73.78                 | 1.10           | 0.19        | 2.09                      | 75.87            |
|    |                          | II              | 7.62        | 0.89        | 67.84                 | 0.91           | 0.22        | 2.01                      | 69.86            |
|    |                          | III             | 7.60        | 0.89        | 67.68                 | 1.18           | 0.25        | 2.95                      | 70.63            |
|    |                          | IV              | 8.09        | 0.66        | 53.37                 | 1.11           | 0.25        | 2.76                      | 56.13            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b> | <b>0.83</b> | <b>65.67</b>          | <b>1.08</b>    | <b>0.23</b> | <b>2.45</b>               | <b>68.12</b>     |
| 4  | Sin Magnesio (-Mg)       | I               | 8.03        | 0.58        | 46.55                 | 1.29           | 0.27        | 3.47                      | 50.02            |
|    |                          | II              | 8.50        | 0.53        | 45.06                 | 1.37           | 0.26        | 3.55                      | 48.60            |
|    |                          | III             | 8.95        | 0.58        | 51.90                 | 1.70           | 0.30        | 5.09                      | 57.00            |
|    |                          | IV              | 10.81       | 0.09        | 9.73                  | 1.93           | 0.40        | 7.72                      | 17.45            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b> | <b>0.45</b> | <b>38.31</b>          | <b>1.57</b>    | <b>0.31</b> | <b>4.96</b>               | <b>43.27</b>     |
| 5  | Sin Azufre (-S)          | I               | 7.35        | 0.77        | 56.60                 | 1.00           | 0.22        | 2.20                      | 58.80            |
|    |                          | II              | 7.78        | 0.69        | 53.71                 | 1.59           | 0.30        | 4.78                      | 58.49            |
|    |                          | III             | 8.04        | 0.79        | 63.49                 | 1.15           | 0.26        | 2.99                      | 66.48            |
|    |                          | IV              | 6.95        | 0.79        | 54.88                 | 1.32           | 0.29        | 3.83                      | 58.72            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b> | <b>0.76</b> | <b>57.17</b>          | <b>1.27</b>    | <b>0.27</b> | <b>3.45</b>               | <b>60.62</b>     |
| 6  | Sin Microelementos (-ME) | I               | 9.45        | 0.81        | 76.54                 | 1.82           | 0.33        | 6.02                      | 82.56            |
|    |                          | II              | 8.88        | 0.84        | 74.56                 | 1.33           | 0.24        | 3.18                      | 77.74            |
|    |                          | III             | 9.61        | 0.69        | 66.33                 | 1.45           | 0.26        | 3.77                      | 70.10            |
|    |                          | IV              | 9.38        | 0.69        | 64.69                 | 1.20           | 0.21        | 2.53                      | 67.22            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b> | <b>0.76</b> | <b>70.53</b>          | <b>1.45</b>    | <b>0.26</b> | <b>3.88</b>               | <b>74.40</b>     |
| 7  | Testigo (0-0-0)          | I               | 1.36        | 0.67        | 9.09                  | 0.77           | 0.64        | 4.90                      | 13.99            |
|    |                          | II              | 1.38        | 0.71        | 9.83                  | 0.87           | 0.67        | 5.80                      | 15.62            |
|    |                          | III             | 1.32        | 0.89        | 11.78                 | 0.45           | 0.67        | 3.04                      | 14.82            |
|    |                          | IV              | 1.03        | 1.07        | 11.00                 | 0.46           | 0.46        | 2.10                      | 13.10            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.27</b> | <b>0.84</b> | <b>10.43</b>          | <b>0.64</b>    | <b>0.61</b> | <b>3.96</b>               | <b>14.38</b>     |
| 8  | Completo                 | I               | 10.40       | 0.89        | 92.55                 | 1.52           | 0.27        | 4.11                      | 96.67            |
|    |                          | II              | 9.86        | 0.78        | 76.92                 | 1.26           | 0.24        | 3.03                      | 79.96            |
|    |                          | III             | 6.09        | 0.81        | 49.29                 | 0.92           | 0.25        | 2.29                      | 51.58            |
|    |                          | IV              | 8.12        | 0.76        | 61.70                 | 1.40           | 0.28        | 3.93                      | 65.63            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b> | <b>0.81</b> | <b>70.12</b>          | <b>1.28</b>    | <b>0.26</b> | <b>3.34</b>               | <b>73.46</b>     |

### Anexo 7: Niveles de extracción de azufre en los diferentes tratamientos

| N° | TRATAMIENTO              | REPETICIÓN      | M. S. AÉREA | % S         | EXTRACCIÓN "S" AÉREO | M. S RADICULAR | % S         | EXTRACCIÓN "S" RADICULAR | EXTRACCIÓN TOTAL |
|----|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|--------------------------|------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno (-N)       | I               | 2.42        | 0.27        | 6.54                 | 0.69           | 0.21        | 1.45                     | 7.99             |
|    |                          | II              | 2.75        | 0.20        | 5.49                 | 0.59           | 0.29        | 1.72                     | 7.21             |
|    |                          | III             | 2.58        | 0.25        | 6.45                 | 0.48           | 0.29        | 1.40                     | 7.85             |
|    |                          | IV              | 2.04        | 0.22        | 4.50                 | 0.37           | 0.21        | 0.78                     | 5.28             |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b> | <b>0.24</b> | <b>5.74</b>          | <b>0.53</b>    | <b>0.25</b> | <b>1.34</b>              | <b>7.08</b>      |
| 2  | Sin Fosforo (-P)         | I               | 2.32        | 0.22        | 5.11                 | 0.51           | 0.13        | 0.67                     | 5.78             |
|    |                          | II              | 2.84        | 0.22        | 6.24                 | 0.41           | 0.35        | 1.44                     | 7.68             |
|    |                          | III             | 1.62        | 0.24        | 3.89                 | 0.41           | 0.35        | 1.42                     | 5.31             |
|    |                          | IV              | 0.95        | 0.25        | 2.36                 | 0.33           | 0.13        | 0.43                     | 2.79             |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b> | <b>0.23</b> | <b>4.40</b>          | <b>0.41</b>    | <b>0.24</b> | <b>0.99</b>              | <b>5.39</b>      |
| 3  | Sin Potasio (-K)         | I               | 8.58        | 0.25        | 21.45                | 1.10           | 0.27        | 2.98                     | 24.42            |
|    |                          | II              | 7.62        | 0.26        | 19.82                | 0.91           | 0.24        | 2.19                     | 22.01            |
|    |                          | III             | 7.60        | 0.27        | 20.53                | 1.18           | 0.29        | 3.42                     | 23.95            |
|    |                          | IV              | 8.09        | 0.21        | 16.98                | 1.11           | 0.25        | 2.76                     | 19.74            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b> | <b>0.25</b> | <b>19.69</b>         | <b>1.08</b>    | <b>0.26</b> | <b>2.84</b>              | <b>22.53</b>     |
| 4  | Sin Magnesio (-Mg)       | I               | 8.03        | 0.26        | 20.87                | 1.29           | 0.30        | 3.86                     | 24.73            |
|    |                          | II              | 8.50        | 0.23        | 19.55                | 1.37           | 0.29        | 3.96                     | 23.51            |
|    |                          | III             | 8.95        | 0.25        | 22.37                | 1.70           | 0.28        | 4.75                     | 27.13            |
|    |                          | IV              | 10.81       | 0.05        | 5.40                 | 1.93           | 0.26        | 5.02                     | 10.42            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b> | <b>0.20</b> | <b>17.05</b>         | <b>1.57</b>    | <b>0.28</b> | <b>4.40</b>              | <b>21.45</b>     |
| 5  | Sin Azufre (-S)          | I               | 7.35        | 0.22        | 16.17                | 1.00           | 0.21        | 2.10                     | 18.27            |
|    |                          | II              | 7.78        | 0.23        | 17.90                | 1.59           | 0.23        | 3.67                     | 21.57            |
|    |                          | III             | 8.04        | 0.24        | 19.29                | 1.15           | 0.27        | 3.10                     | 22.39            |
|    |                          | IV              | 6.95        | 0.20        | 13.89                | 1.32           | 0.22        | 2.91                     | 16.80            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b> | <b>0.22</b> | <b>16.81</b>         | <b>1.27</b>    | <b>0.23</b> | <b>2.94</b>              | <b>19.76</b>     |
| 6  | Sin Microelementos (-ME) | I               | 9.45        | 0.20        | 18.90                | 1.82           | 0.27        | 4.92                     | 23.82            |
|    |                          | II              | 8.88        | 0.19        | 16.86                | 1.33           | 0.23        | 3.05                     | 19.91            |
|    |                          | III             | 9.61        | 0.21        | 20.19                | 1.45           | 0.24        | 3.48                     | 23.67            |
|    |                          | IV              | 9.38        | 0.20        | 18.75                | 1.20           | 0.25        | 3.01                     | 21.76            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b> | <b>0.20</b> | <b>18.67</b>         | <b>1.45</b>    | <b>0.25</b> | <b>3.62</b>              | <b>22.29</b>     |
| 7  | Testigo (0-0-0)          | I               | 1.36        | 0.19        | 2.58                 | 0.77           | 0.44        | 3.37                     | 5.95             |
|    |                          | II              | 1.38        | 0.23        | 3.18                 | 0.87           | 0.30        | 2.60                     | 5.78             |
|    |                          | III             | 1.32        | 0.25        | 3.31                 | 0.45           | 0.30        | 1.36                     | 4.67             |
|    |                          | IV              | 1.03        | 0.24        | 2.47                 | 0.46           | 0.22        | 1.00                     | 3.47             |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.27</b> | <b>0.23</b> | <b>2.88</b>          | <b>0.64</b>    | <b>0.32</b> | <b>2.08</b>              | <b>4.97</b>      |
| 8  | Completo                 | I               | 10.40       | 0.22        | 22.88                | 1.52           | 0.30        | 4.57                     | 27.45            |
|    |                          | II              | 9.86        | 0.20        | 19.72                | 1.26           | 0.22        | 2.78                     | 22.50            |
|    |                          | III             | 6.09        | 0.23        | 14.00                | 0.92           | 0.23        | 2.10                     | 16.10            |
|    |                          | IV              | 8.12        | 0.20        | 16.24                | 1.40           | 0.35        | 4.91                     | 21.15            |
|    |                          | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b> | <b>0.21</b> | <b>18.21</b>         | <b>1.28</b>    | <b>0.28</b> | <b>3.59</b>              | <b>21.80</b>     |

**Anexo 8: Niveles de extracción de cobre en los diferentes tratamientos**

| N° | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN | M. S.<br>AÉREA | Cu<br>ppm    | EXTRACCIÓN "Cu"<br>AÉREO | M. S RADICULAR | Cu<br>ppm     | EXTRACCIÓN "Cu"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|----|-----------------------------|------------|----------------|--------------|--------------------------|----------------|---------------|------------------------------|---------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I          | 2.42           | 30           | 0.073                    | 0.69           | 104           | 0.072                        | 0.144               |
|    |                             | II         | 2.75           | 32           | 0.088                    | 0.59           | 105           | 0.062                        | 0.15                |
|    |                             | III        | 2.58           | 37           | 0.095                    | 0.48           | 105           | 0.051                        | 0.146               |
|    |                             | IV         | 2.04           | 22           | 0.045                    | 0.37           | 104           | 0.039                        | 0.084               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>2.45</b>    | <b>30.25</b> | <b>0.075</b>             | <b>0.53</b>    | <b>104.5</b>  | <b>0.056</b>                 | <b>0.131</b>        |
| 2  | Sin Fosforo<br>(-P)         | I          | 2.32           | 26           | 0.06                     | 0.51           | 114           | 0.058                        | 0.119               |
|    |                             | II         | 2.84           | 26           | 0.074                    | 0.41           | 142           | 0.059                        | 0.132               |
|    |                             | III        | 1.62           | 29           | 0.047                    | 0.41           | 142           | 0.058                        | 0.105               |
|    |                             | IV         | 0.95           | 33           | 0.031                    | 0.33           | 114           | 0.037                        | 0.068               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>1.93</b>    | <b>28.5</b>  | <b>0.053</b>             | <b>0.41</b>    | <b>128</b>    | <b>0.053</b>                 | <b>0.106</b>        |
| 3  | Sin Potasio<br>(-K)         | I          | 8.58           | 28           | 0.24                     | 1.1            | 110           | 0.121                        | 0.361               |
|    |                             | II         | 7.62           | 26           | 0.198                    | 0.91           | 119           | 0.109                        | 0.307               |
|    |                             | III        | 7.6            | 33           | 0.251                    | 1.18           | 134           | 0.158                        | 0.409               |
|    |                             | IV         | 8.09           | 26           | 0.21                     | 1.11           | 129           | 0.143                        | 0.353               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>7.97</b>    | <b>28.25</b> | <b>0.225</b>             | <b>1.08</b>    | <b>123</b>    | <b>0.133</b>                 | <b>0.358</b>        |
| 4  | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I          | 8.03           | 28           | 0.225                    | 1.29           | 121           | 0.156                        | 0.38                |
|    |                             | II         | 8.5            | 23           | 0.196                    | 1.37           | 111           | 0.152                        | 0.347               |
|    |                             | III        | 8.95           | 35           | 0.313                    | 1.7            | 118           | 0.2                          | 0.514               |
|    |                             | IV         | 10.81          | 29           | 0.313                    | 1.93           | 134           | 0.259                        | 0.572               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>9.07</b>    | <b>28.75</b> | <b>0.262</b>             | <b>1.57</b>    | <b>121</b>    | <b>0.192</b>                 | <b>0.453</b>        |
| 5  | Sin Azufre<br>(-S)          | I          | 7.35           | 25           | 0.184                    | 1              | 124           | 0.124                        | 0.308               |
|    |                             | II         | 7.78           | 34           | 0.265                    | 1.59           | 126           | 0.201                        | 0.466               |
|    |                             | III        | 8.04           | 25           | 0.201                    | 1.15           | 133           | 0.153                        | 0.354               |
|    |                             | IV         | 6.95           | 27           | 0.188                    | 1.32           | 122           | 0.161                        | 0.349               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>7.53</b>    | <b>27.75</b> | <b>0.209</b>             | <b>1.27</b>    | <b>126.25</b> | <b>0.16</b>                  | <b>0.369</b>        |
| 6  | Sin Microelementos<br>(-ME) | I          | 9.45           | 14           | 0.132                    | 1.82           | 69            | 0.126                        | 0.258               |
|    |                             | II         | 8.88           | 21           | 0.186                    | 1.33           | 87            | 0.115                        | 0.302               |
|    |                             | III        | 9.61           | 18           | 0.173                    | 1.45           | 81            | 0.118                        | 0.291               |
|    |                             | IV         | 9.38           | 20           | 0.188                    | 1.2            | 79            | 0.095                        | 0.283               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>9.33</b>    | <b>18.25</b> | <b>0.17</b>              | <b>1.45</b>    | <b>79</b>     | <b>0.113</b>                 | <b>0.283</b>        |
| 7  | Testigo<br>(0-0-0)          | I          | 1.36           | 25           | 0.034                    | 0.77           | 86            | 0.066                        | 0.1                 |
|    |                             | II         | 1.38           | 12           | 0.017                    | 0.87           | 86            | 0.074                        | 0.091               |
|    |                             | III        | 1.32           | 26           | 0.034                    | 0.45           | 86            | 0.039                        | 0.073               |
|    |                             | IV         | 1.03           | 18           | 0.019                    | 0.46           | 87            | 0.04                         | 0.058               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>1.27</b>    | <b>20.25</b> | <b>0.026</b>             | <b>0.64</b>    | <b>86.25</b>  | <b>0.055</b>                 | <b>0.081</b>        |
| 8  | Completo                    | I          | 10.4           | 25           | 0.26                     | 1.52           | 132           | 0.201                        | 0.461               |
|    |                             | II         | 9.86           | 27           | 0.266                    | 1.26           | 140           | 0.177                        | 0.443               |
|    |                             | III        | 6.09           | 30           | 0.183                    | 0.92           | 114           | 0.104                        | 0.287               |
|    |                             | IV         | 8.12           | 27           | 0.219                    | 1.4            | 142           | 0.199                        | 0.418               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>8.62</b>    | <b>27.25</b> | <b>0.232</b>             | <b>1.28</b>    | <b>132</b>    | <b>0.17</b>                  | <b>0.402</b>        |

### Anexo 9: Niveles de extracción de manganeso en los diferentes tratamientos

| Nº              | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN | M. S.<br>AÉREA | Mn<br>ppm     | EXTRACCIÓN "Mn"<br>AÉREO | M. S<br>RADICULAR | Mn<br>ppm     | EXTRACCIÓN "Mn"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|-----------------|-----------------------------|------------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------|---------------|------------------------------|---------------------|
| 1               | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I          | 2.42           | 126.00        | 0.305                    | 0.69              | 308.00        | 0.212                        | 0.517               |
|                 |                             | II         | 2.75           | 120.00        | 0.330                    | 0.59              | 468.00        | 0.278                        | 0.608               |
|                 |                             | III        | 2.58           | 120.00        | 0.309                    | 0.48              | 468.00        | 0.226                        | 0.535               |
|                 |                             | IV         | 2.04           | 139.00        | 0.284                    | 0.37              | 308.00        | 0.115                        | 0.399               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>2.45</b>    | <b>126.25</b> | <b>0.307</b>             | <b>0.53</b>       | <b>388.00</b> | <b>0.208</b>                 | <b>0.515</b>        |
| 2               | Sin Fosforo<br>(-P)         | I          | 2.32           | 355.00        | 0.825                    | 0.51              | 283.00        | 0.145                        | 0.970               |
|                 |                             | II         | 2.84           | 351.00        | 0.995                    | 0.41              | 500.00        | 0.206                        | 1.201               |
|                 |                             | III        | 1.62           | 376.00        | 0.610                    | 0.41              | 500.00        | 0.203                        | 0.813               |
|                 |                             | IV         | 0.95           | 338.00        | 0.319                    | 0.33              | 283.00        | 0.093                        | 0.412               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>1.93</b>    | <b>355.00</b> | <b>0.687</b>             | <b>0.41</b>       | <b>391.50</b> | <b>0.162</b>                 | <b>0.849</b>        |
| 3               | Sin Potasio<br>(-K)         | I          | 8.58           | 253.00        | 2.170                    | 1.10              | 370.00        | 0.408                        | 2.578               |
|                 |                             | II         | 7.62           | 218.00        | 1.662                    | 0.91              | 363.00        | 0.332                        | 1.994               |
|                 |                             | III        | 7.60           | 231.00        | 1.757                    | 1.18              | 385.00        | 0.454                        | 2.211               |
|                 |                             | IV         | 8.09           | 223.00        | 1.803                    | 1.11              | 362.00        | 0.400                        | 2.203               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>7.97</b>    | <b>231.25</b> | <b>1.848</b>             | <b>1.08</b>       | <b>370.00</b> | <b>0.398</b>                 | <b>2.246</b>        |
| 4               | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I          | 8.03           | 273.00        | 2.191                    | 1.29              | 255.00        | 0.328                        | 2.519               |
|                 |                             | II         | 8.50           | 276.00        | 2.346                    | 1.37              | 357.00        | 0.487                        | 2.834               |
|                 |                             | III        | 8.95           | 343.00        | 3.070                    | 1.70              | 265.00        | 0.450                        | 3.519               |
|                 |                             | IV         | 10.81          | 297.00        | 3.210                    | 1.93              | 310.00        | 0.599                        | 3.809               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>9.07</b>    | <b>297.25</b> | <b>2.704</b>             | <b>1.57</b>       | <b>296.75</b> | <b>0.466</b>                 | <b>3.170</b>        |
| 5               | Sin Azufre<br>(-S)          | I          | 7.35           | 321.00        | 2.359                    | 1.00              | 363.00        | 0.363                        | 2.722               |
|                 |                             | II         | 7.78           | 351.00        | 2.732                    | 1.59              | 272.00        | 0.434                        | 3.166               |
|                 |                             | III        | 8.04           | 377.00        | 3.030                    | 1.15              | 375.00        | 0.431                        | 3.461               |
|                 |                             | IV         | 6.95           | 356.00        | 2.473                    | 1.32              | 443.00        | 0.586                        | 3.059               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>7.53</b>    | <b>351.25</b> | <b>2.649</b>             | <b>1.27</b>       | <b>363.25</b> | <b>0.453</b>                 | <b>3.102</b>        |
| 6               | Sin Microelementos<br>(-ME) | I          | 9.45           | 89.00         | 0.841                    | 1.82              | 302.00        | 0.551                        | 1.392               |
|                 |                             | II         | 8.88           | 129.00        | 1.145                    | 1.33              | 323.00        | 0.428                        | 1.573               |
|                 |                             | III        | 9.61           | 68.00         | 0.654                    | 1.45              | 272.00        | 0.395                        | 1.048               |
|                 |                             | IV         | 9.38           | 118.00        | 1.106                    | 1.20              | 394.00        | 0.474                        | 1.581               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>9.33</b>    | <b>101.00</b> | <b>0.936</b>             | <b>1.45</b>       | <b>322.75</b> | <b>0.462</b>                 | <b>1.399</b>        |
| 7               | Testigo<br>(0-0-0)          | I          | 1.36           | 54.00         | 0.073                    | 0.77              | 330.00        | 0.253                        | 0.326               |
|                 |                             | II         | 1.38           | 49.00         | 0.068                    | 0.87              | 342.00        | 0.296                        | 0.364               |
|                 |                             | III        | 1.32           | 56.00         | 0.074                    | 0.45              | 342.00        | 0.155                        | 0.229               |
|                 |                             | IV         | 1.03           | 57.00         | 0.059                    | 0.46              | 307.00        | 0.140                        | 0.199               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>1.27</b>    | <b>54.00</b>  | <b>0.068</b>             | <b>0.64</b>       | <b>330.25</b> | <b>0.211</b>                 | <b>0.279</b>        |
| 8               | Completo                    | I          | 10.40          | 269.00        | 2.797                    | 1.52              | 243.00        | 0.370                        | 3.168               |
|                 |                             | II         | 9.86           | 297.00        | 2.929                    | 1.26              | 329.00        | 0.416                        | 3.345               |
|                 |                             | III        | 6.09           | 262.00        | 1.594                    | 0.92              | 356.00        | 0.326                        | 1.920               |
|                 |                             | IV         | 8.12           | 248.00        | 2.014                    | 1.40              | 388.00        | 0.544                        | 2.558               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>8.62</b>    | <b>269.00</b> | <b>2.334</b>             | <b>1.28</b>       | <b>329.00</b> | <b>0.414</b>                 | <b>2.748</b>        |

### Anexo 10: Niveles de extracción de hierro en los diferentes tratamientos

| Nº              | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN | M. S.<br>AÉREA | Fe<br>ppm     | EXTRACCIÓN "Fe"<br>AÉREO | M. S<br>RADICULAR | Fe<br>ppm      | EXTRACCIÓN "Fe"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|-----------------|-----------------------------|------------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------|----------------|------------------------------|---------------------|
| 1               | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I          | 2.42           | 645.00        | 1.562                    | 0.69              | 4119.00        | 2.838                        | 4.400               |
|                 |                             | II         | 2.75           | 525.00        | 1.442                    | 0.59              | 6421.00        | 3.814                        | 5.256               |
|                 |                             | III        | 2.58           | 612.00        | 1.578                    | 0.48              | 6421.00        | 3.101                        | 4.679               |
|                 |                             | IV         | 2.04           | 666.00        | 1.361                    | 0.37              | 4119.00        | 1.536                        | 2.898               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>2.45</b>    | <b>612.00</b> | <b>1.486</b>             | <b>0.53</b>       | <b>5270.00</b> | <b>2.822</b>                 | <b>4.308</b>        |
| 2               | Sin Fosforo<br>(-P)         | I          | 2.32           | 383.00        | 0.890                    | 0.51              | 8617.00        | 4.421                        | 5.311               |
|                 |                             | II         | 2.84           | 277.00        | 0.785                    | 0.41              | 9114.00        | 3.755                        | 4.540               |
|                 |                             | III        | 1.62           | 397.00        | 0.644                    | 0.41              | 9114.00        | 3.700                        | 4.344               |
|                 |                             | IV         | 0.95           | 305.00        | 0.288                    | 0.33              | 8617.00        | 2.818                        | 3.106               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>1.93</b>    | <b>340.50</b> | <b>0.652</b>             | <b>0.41</b>       | <b>8865.50</b> | <b>3.673</b>                 | <b>4.325</b>        |
| 3               | Sin Potasio<br>(-K)         | I          | 8.58           | 502.00        | 4.307                    | 1.10              | 4670.00        | 5.146                        | 9.453               |
|                 |                             | II         | 7.62           | 394.00        | 3.003                    | 0.91              | 5252.00        | 4.800                        | 7.804               |
|                 |                             | III        | 7.60           | 419.00        | 3.186                    | 1.18              | 5789.00        | 6.831                        | 10.017              |
|                 |                             | IV         | 8.09           | 438.00        | 3.542                    | 1.11              | 5296.00        | 5.852                        | 9.394               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>7.97</b>    | <b>438.25</b> | <b>3.509</b>             | <b>1.08</b>       | <b>5251.75</b> | <b>5.657</b>                 | <b>9.167</b>        |
| 4               | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I          | 8.03           | 576.00        | 4.622                    | 1.29              | 5255.00        | 6.763                        | 11.386              |
|                 |                             | II         | 8.50           | 363.00        | 3.086                    | 1.37              | 6545.00        | 8.934                        | 12.020              |
|                 |                             | III        | 8.95           | 546.00        | 4.886                    | 1.70              | 6530.00        | 11.088                       | 15.974              |
|                 |                             | IV         | 10.81          | 699.00        | 7.555                    | 1.93              | 6110.00        | 11.798                       | 19.353              |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>9.07</b>    | <b>546.00</b> | <b>5.037</b>             | <b>1.57</b>       | <b>6110.00</b> | <b>9.646</b>                 | <b>14.683</b>       |
| 5               | Sin Azufre<br>(-S)          | I          | 7.35           | 489.00        | 3.594                    | 1.00              | 4796.00        | 4.796                        | 8.390               |
|                 |                             | II         | 7.78           | 580.00        | 4.515                    | 1.59              | 6870.00        | 10.951                       | 15.466              |
|                 |                             | III        | 8.04           | 735.00        | 5.907                    | 1.15              | 5430.00        | 6.239                        | 12.146              |
|                 |                             | IV         | 6.95           | 674.00        | 4.682                    | 1.32              | 5910.00        | 7.813                        | 12.495              |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>7.53</b>    | <b>619.50</b> | <b>4.675</b>             | <b>1.27</b>       | <b>5751.50</b> | <b>7.450</b>                 | <b>12.124</b>       |
| 6               | Sin Microelementos<br>(-ME) | I          | 9.45           | 209.00        | 1.975                    | 1.82              | 4391.00        | 8.009                        | 9.984               |
|                 |                             | II         | 8.88           | 261.00        | 2.317                    | 1.33              | 4599.00        | 6.098                        | 8.415               |
|                 |                             | III        | 9.61           | 181.00        | 1.740                    | 1.45              | 4019.00        | 5.832                        | 7.572               |
|                 |                             | IV         | 9.38           | 393.00        | 3.684                    | 1.20              | 4554.00        | 5.483                        | 9.167               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>9.33</b>    | <b>261.00</b> | <b>2.429</b>             | <b>1.45</b>       | <b>4390.75</b> | <b>6.356</b>                 | <b>8.784</b>        |
| 7               | Testigo<br>(0-0-0)          | I          | 1.36           | 175.00        | 0.237                    | 0.77              | 7444.00        | 5.702                        | 5.940               |
|                 |                             | II         | 1.38           | 195.00        | 0.270                    | 0.87              | 9250.00        | 8.001                        | 8.271               |
|                 |                             | III        | 1.32           | 209.00        | 0.277                    | 0.45              | 9250.00        | 4.190                        | 4.467               |
|                 |                             | IV         | 1.03           | 120.00        | 0.123                    | 0.46              | 6444.00        | 2.938                        | 3.062               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>1.27</b>    | <b>174.75</b> | <b>0.227</b>             | <b>0.64</b>       | <b>8097.00</b> | <b>5.208</b>                 | <b>5.435</b>        |
| 8               | Completo                    | I          | 10.40          | 366.00        | 3.806                    | 1.52              | 2711.00        | 4.132                        | 7.938               |
|                 |                             | II         | 9.86           | 372.00        | 3.669                    | 1.26              | 6065.00        | 7.666                        | 11.335              |
|                 |                             | III        | 6.09           | 542.00        | 3.298                    | 0.92              | 6478.00        | 5.927                        | 9.225               |
|                 |                             | IV         | 8.12           | 427.00        | 3.467                    | 1.40              | 2806.00        | 3.937                        | 7.404               |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |            | <b>8.62</b>    | <b>426.75</b> | <b>3.560</b>             | <b>1.28</b>       | <b>4515.00</b> | <b>5.415</b>                 | <b>8.975</b>        |

### Anexo 11: Niveles de extracción de boro en los diferentes tratamientos

| N° | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN | M. S.<br>AÉREA | B<br>ppm      | EXTRACCIÓN<br>"B"<br>AÉREO | M. S<br>RADICULAR | B<br>ppm     | EXTRACCIÓN<br>"B"<br>RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|----|-----------------------------|------------|----------------|---------------|----------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------|---------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I          | 2.42           | 152.00        | 0.368                      | 0.69              | 53.00        | 0.037                          | 0.405               |
|    |                             | II         | 2.75           | 161.00        | 0.442                      | 0.59              | 78.00        | 0.046                          | 0.488               |
|    |                             | III        | 2.58           | 146.00        | 0.376                      | 0.48              | 78.00        | 0.038                          | 0.414               |
|    |                             | IV         | 2.04           | 137.00        | 0.280                      | 0.37              | 53.00        | 0.020                          | 0.300               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>2.45</b>    | <b>149.00</b> | <b>0.367</b>               | <b>0.53</b>       | <b>65.50</b> | <b>0.035</b>                   | <b>0.402</b>        |
| 2  | Sin Fosforo<br>(-P)         | I          | 2.32           | 346.00        | 0.804                      | 0.51              | 55.00        | 0.028                          | 0.832               |
|    |                             | II         | 2.84           | 374.00        | 1.060                      | 0.41              | 73.00        | 0.030                          | 1.090               |
|    |                             | III        | 1.62           | 311.00        | 0.504                      | 0.41              | 73.00        | 0.030                          | 0.534               |
|    |                             | IV         | 0.95           | 352.00        | 0.333                      | 0.33              | 55.00        | 0.018                          | 0.351               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>1.93</b>    | <b>345.75</b> | <b>0.675</b>               | <b>0.41</b>       | <b>64.00</b> | <b>0.026</b>                   | <b>0.702</b>        |
| 3  | Sin Potasio<br>(-K)         | I          | 8.58           | 250.00        | 2.145                      | 1.10              | 55.00        | 0.061                          | 2.205               |
|    |                             | II         | 7.62           | 243.00        | 1.852                      | 0.91              | 54.00        | 0.049                          | 1.902               |
|    |                             | III        | 7.60           | 185.00        | 1.407                      | 1.18              | 52.00        | 0.061                          | 1.468               |
|    |                             | IV         | 8.09           | 224.00        | 1.811                      | 1.11              | 52.00        | 0.057                          | 1.869               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>7.97</b>    | <b>225.50</b> | <b>1.804</b>               | <b>1.08</b>       | <b>53.25</b> | <b>0.057</b>                   | <b>1.861</b>        |
| 4  | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I          | 8.03           | 165.00        | 1.324                      | 1.29              | 57.00        | 0.073                          | 1.397               |
|    |                             | II         | 8.50           | 222.00        | 1.887                      | 1.37              | 41.00        | 0.056                          | 1.943               |
|    |                             | III        | 8.95           | 198.00        | 1.772                      | 1.70              | 46.00        | 0.078                          | 1.850               |
|    |                             | IV         | 10.81          | 195.00        | 2.108                      | 1.93              | 37.00        | 0.071                          | 2.179               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>9.07</b>    | <b>195.00</b> | <b>1.773</b>               | <b>1.57</b>       | <b>45.25</b> | <b>0.070</b>                   | <b>1.842</b>        |
| 5  | Sin Azufre<br>(-S)          | I          | 7.35           | 220.00        | 1.617                      | 1.00              | 56.00        | 0.056                          | 1.673               |
|    |                             | II         | 7.78           | 198.00        | 1.541                      | 1.59              | 44.00        | 0.070                          | 1.611               |
|    |                             | III        | 8.04           | 268.00        | 2.154                      | 1.15              | 57.00        | 0.065                          | 2.219               |
|    |                             | IV         | 6.95           | 174.00        | 1.209                      | 1.32              | 42.00        | 0.056                          | 1.264               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>7.53</b>    | <b>215.00</b> | <b>1.630</b>               | <b>1.27</b>       | <b>49.75</b> | <b>0.062</b>                   | <b>1.692</b>        |
| 6  | Sin Microelementos<br>(-ME) | I          | 9.45           | 59.00         | 0.557                      | 1.82              | 33.00        | 0.060                          | 0.618               |
|    |                             | II         | 8.88           | 60.00         | 0.533                      | 1.33              | 40.00        | 0.053                          | 0.586               |
|    |                             | III        | 9.61           | 69.00         | 0.663                      | 1.45              | 41.00        | 0.059                          | 0.723               |
|    |                             | IV         | 9.38           | 62.00         | 0.581                      | 1.20              | 50.00        | 0.060                          | 0.641               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>9.33</b>    | <b>62.50</b>  | <b>0.584</b>               | <b>1.45</b>       | <b>41.00</b> | <b>0.058</b>                   | <b>0.642</b>        |
| 7  | Testigo<br>(0-0-0)          | I          | 1.36           | 80.00         | 0.109                      | 0.77              | 63.00        | 0.048                          | 0.157               |
|    |                             | II         | 1.38           | 99.00         | 0.137                      | 0.87              | 71.00        | 0.061                          | 0.198               |
|    |                             | III        | 1.32           | 83.00         | 0.110                      | 0.45              | 71.00        | 0.032                          | 0.142               |
|    |                             | IV         | 1.03           | 58.00         | 0.060                      | 0.46              | 45.00        | 0.021                          | 0.080               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>1.27</b>    | <b>80.00</b>  | <b>0.104</b>               | <b>0.64</b>       | <b>62.50</b> | <b>0.041</b>                   | <b>0.144</b>        |
| 8  | Completo                    | I          | 10.40          | 206.00        | 2.142                      | 1.52              | 40.00        | 0.061                          | 2.203               |
|    |                             | II         | 9.86           | 182.00        | 1.795                      | 1.26              | 57.00        | 0.072                          | 1.867               |
|    |                             | III        | 6.09           | 199.00        | 1.211                      | 0.92              | 49.00        | 0.045                          | 1.256               |
|    |                             | IV         | 8.12           | 209.00        | 1.697                      | 1.40              | 50.00        | 0.070                          | 1.767               |
|    | <b>PROMEDIO</b>             |            | <b>8.62</b>    | <b>199.00</b> | <b>1.711</b>               | <b>1.28</b>       | <b>49.00</b> | <b>0.062</b>                   | <b>1.773</b>        |

## Anexo 12: Niveles de extracción de molibdeno en los diferentes tratamientos

| Nº | TRATAMIENTO                 | REPETICIÓN      | M. S.<br>AÉREA | Mo<br>ppm    | EXTRACCIÓN "Mo"<br>AÉREO | M. S<br>RADICULAR | Mo<br>ppm    | EXTRACCIÓN<br>"Mo" RADICULAR | EXTRACCIÓN<br>TOTAL |
|----|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------------------|-------------------|--------------|------------------------------|---------------------|
| 1  | Sin Nitrógeno<br>(-N)       | I               | 2.42           | 10.56        | 0.026                    | 0.69              | 6.35         | 0.004                        | 0.030               |
|    |                             | II              | 2.75           | 11.71        | 0.032                    | 0.59              | 25.34        | 0.015                        | 0.047               |
|    |                             | III             | 2.58           | 8.01         | 0.021                    | 0.48              | 25.34        | 0.012                        | 0.033               |
|    |                             | IV              | 2.04           | 11.95        | 0.024                    | 0.37              | 6.35         | 0.002                        | 0.027               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>2.45</b>    | <b>10.56</b> | <b>0.026</b>             | <b>0.53</b>       | <b>15.85</b> | <b>0.009</b>                 | <b>0.034</b>        |
| 2  | Sin Fosforo<br>(-P)         | I               | 2.32           | 6.66         | 0.015                    | 0.51              | 22.00        | 0.011                        | 0.027               |
|    |                             | II              | 2.84           | 6.60         | 0.019                    | 0.41              | 36.96        | 0.015                        | 0.034               |
|    |                             | III             | 1.62           | 7.56         | 0.012                    | 0.41              | 36.96        | 0.015                        | 0.027               |
|    |                             | IV              | 0.95           | 10.00        | 0.009                    | 0.33              | 22.00        | 0.007                        | 0.017               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.93</b>    | <b>7.71</b>  | <b>0.014</b>             | <b>0.41</b>       | <b>29.48</b> | <b>0.012</b>                 | <b>0.026</b>        |
| 3  | Sin Potasio<br>(-K)         | I               | 8.58           | 5.72         | 0.049                    | 1.10              | 37.00        | 0.041                        | 0.090               |
|    |                             | II              | 7.62           | 8.47         | 0.065                    | 0.91              | 39.45        | 0.036                        | 0.101               |
|    |                             | III             | 7.60           | 6.64         | 0.050                    | 1.18              | 40.67        | 0.048                        | 0.098               |
|    |                             | IV              | 8.09           | 4.97         | 0.040                    | 1.11              | 37.04        | 0.041                        | 0.081               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.97</b>    | <b>6.45</b>  | <b>0.051</b>             | <b>1.08</b>       | <b>38.54</b> | <b>0.041</b>                 | <b>0.093</b>        |
| 4  | Sin Magnesio<br>(-Mg)       | I               | 8.03           | 6.27         | 0.050                    | 1.29              | 30.59        | 0.039                        | 0.090               |
|    |                             | II              | 8.50           | 4.16         | 0.035                    | 1.37              | 31.09        | 0.042                        | 0.078               |
|    |                             | III             | 8.95           | 5.21         | 0.047                    | 1.70              | 24.53        | 0.042                        | 0.088               |
|    |                             | IV              | 10.81          | 5.01         | 0.054                    | 1.93              | 23.21        | 0.045                        | 0.099               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.07</b>    | <b>5.16</b>  | <b>0.047</b>             | <b>1.57</b>       | <b>27.36</b> | <b>0.042</b>                 | <b>0.089</b>        |
| 5  | Sin Azufre<br>(-S)          | I               | 7.35           | 5.08         | 0.037                    | 1.00              | 29.96        | 0.030                        | 0.067               |
|    |                             | II              | 7.78           | 3.98         | 0.031                    | 1.59              | 26.04        | 0.042                        | 0.072               |
|    |                             | III             | 8.04           | 5.38         | 0.043                    | 1.15              | 29.09        | 0.033                        | 0.077               |
|    |                             | IV              | 6.95           | 7.59         | 0.053                    | 1.32              | 31.27        | 0.041                        | 0.094               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>7.53</b>    | <b>5.51</b>  | <b>0.041</b>             | <b>1.27</b>       | <b>29.09</b> | <b>0.037</b>                 | <b>0.078</b>        |
| 6  | Sin Microelementos<br>(-ME) | I               | 9.45           | 8.96         | 0.085                    | 1.82              | 13.72        | 0.025                        | 0.110               |
|    |                             | II              | 8.88           | 5.49         | 0.049                    | 1.33              | 14.57        | 0.019                        | 0.068               |
|    |                             | III             | 9.61           | 6.25         | 0.060                    | 1.45              | 14.47        | 0.021                        | 0.081               |
|    |                             | IV              | 9.38           | 5.89         | 0.055                    | 1.20              | 14.25        | 0.017                        | 0.072               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>9.33</b>    | <b>6.65</b>  | <b>0.062</b>             | <b>1.45</b>       | <b>14.25</b> | <b>0.021</b>                 | <b>0.083</b>        |
| 7  | Testigo<br>(0-0-0)          | I               | 1.36           | 6.09         | 0.008                    | 0.77              | 7.12         | 0.005                        | 0.014               |
|    |                             | II              | 1.38           | 6.13         | 0.008                    | 0.87              | 7.17         | 0.006                        | 0.015               |
|    |                             | III             | 1.32           | 7.36         | 0.010                    | 0.45              | 7.17         | 0.003                        | 0.013               |
|    |                             | IV              | 1.03           | 7.28         | 0.007                    | 0.46              | 7.03         | 0.003                        | 0.011               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>1.27</b>    | <b>6.72</b>  | <b>0.008</b>             | <b>0.64</b>       | <b>7.12</b>  | <b>0.005</b>                 | <b>0.013</b>        |
| 8  | Completo                    | I               | 10.40          | 5.22         | 0.054                    | 1.52              | 37.43        | 0.057                        | 0.111               |
|    |                             | II              | 9.86           | 4.98         | 0.049                    | 1.26              | 41.83        | 0.053                        | 0.102               |
|    |                             | III             | 6.09           | 3.80         | 0.023                    | 0.92              | 32.43        | 0.030                        | 0.053               |
|    |                             | IV              | 8.12           | 6.88         | 0.056                    | 1.40              | 38.02        | 0.053                        | 0.109               |
|    |                             | <b>PROMEDIO</b> | <b>8.62</b>    | <b>5.22</b>  | <b>0.046</b>             | <b>1.28</b>       | <b>37.43</b> | <b>0.048</b>                 | <b>0.094</b>        |

**Anexo 13: Análisis de Variancia en número de inflorescencias**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 3115.969  | 445.138   | 26.30 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 406.250   | 16.927    |              |                |
| Total        | 31        | 3522.219  |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 20.733    |              |                |
| Promedio     |           |           | 19.844    |              |                |

**Anexo 14: Análisis de Variancia en biomasa total de plantas**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 428.152   | 61.165    | 55.45 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 26.472    | 1.103     |              |                |
| Total        | 31        | 454.624   |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 14.899    |              |                |
| Promedio     |           |           | 7.049     |              |                |

**Anexo 15: Análisis de Variancia en contenido de nitrógeno**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b>  | <b>CM</b>  | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|------------|------------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 835484.742 | 119354.963 | 66.91 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 42808.790  | 1783.700   |              |                |
| Total        | 31        | 878293.532 |            |              |                |
| C.V.(%)      |           |            | 15.370     |              |                |
| Promedio     |           |            | 274.787    |              |                |

**Anexo 16: Análisis de Variancia en contenido de fósforo**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 1708.141  | 244.020   | 22.45 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 260.848   | 10.869    |              |                |
| Total        | 31        | 1968.989  |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 20.986    |              |                |
| Promedio     |           |           | 15.710    |              |                |

**Anexo 17: Análisis de Varianza en contenido de potasio**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b>  | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|------------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 180117.991 | 25731.142 | 35.13 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 17576.493  | 732.354   |              |                |
| Total        | 31        | 197694.484 |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |            | 18.248    |              |                |
| Promedio     |           |            | 148.298   |              |                |

**Anexo 18: Análisis de Varianza en contenido de magnesio**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 20372.842 | 2910.406  | 27.50 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 2540.252  | 105.844   |              |                |
| Total        | 31        | 22913.094 |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 22.451    |              |                |
| Promedio     |           |           | 45.825    |              |                |

**Anexo 19: Análisis de Variancia en contenido de azufre**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 1890.484  | 270.069   | 21.62 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 299.866   | 12.494    |              |                |
| Total        | 31        | 2190.350  |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 22.574    |              |                |
| Promedio     |           |           | 15.659    |              |                |

**Anexo 20: Análisis de Variancia en contenido de cobre**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 0.603     | 0.086     | 26.04 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 0.079     | 0.003     |              |                |
| Total        | 31        | 0.683     |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 21.081    |              |                |
| Promedio     |           |           | 0.273     |              |                |

**Anexo 21: Análisis de Variancia en contenido de manganeso**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 38.795    | 5.542     | 39.88 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 3.336     | 0.139     |              |                |
| Total        | 31        | 42.131    |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 20.844    |              |                |
| Promedio     |           |           | 1.789     |              |                |

**Anexo 22: Análisis de Variancia en contenido de hierro**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 7         | 386.034   | 55.148    | 12.95 **     | <.0001         |
| Error        | 24        | 102.172   | 4.257     |              |                |
| Total        | 31        | 488.205   |           |              |                |
| C.V.(%)      |           |           | 24.345    |              |                |
| Promedio     |           |           | 8.475     |              |                |

**Anexo 23: Análisis de Variancia en contenido de boro**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |  |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|--|
| Tratamientos | 7         | 14.778    | 2.111     | 26.96 **     | <.0001         |  |
| Error        | 24        | 1.880     | 0.078     |              |                |  |
| Total        | 31        | 16.658    |           |              |                |  |
| C.V.(%)      |           |           |           |              |                |  |
|              |           |           | 24.716    |              |                |  |
| Promedio     |           |           |           |              |                |  |
|              |           |           | 1.132     |              |                |  |

**Anexo 24: Análisis de Variancia en contenido de molibdeno**

| <b>FV</b>    | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>Fcalc</b> | <b>P-value</b> |  |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------------|--|
| Tratamientos | 7         | 0.0309    | 0.0044    | 23.02 **     | <.0001         |  |
| Error        | 24        | 0.0046    | 0.0002    |              |                |  |
| Total        | 31        | 0.0355    |           |              |                |  |
| C.V.(%)      |           |           |           |              |                |  |
|              |           |           | 21.770    |              |                |  |
| Promedio     |           |           |           |              |                |  |
|              |           |           | 0.064     |              |                |  |



**Anexo 25: Germinación de semillas de chía (*Salvia hispánica* L).**



**Anexo 26: Disposición radial de las semillas de chía**



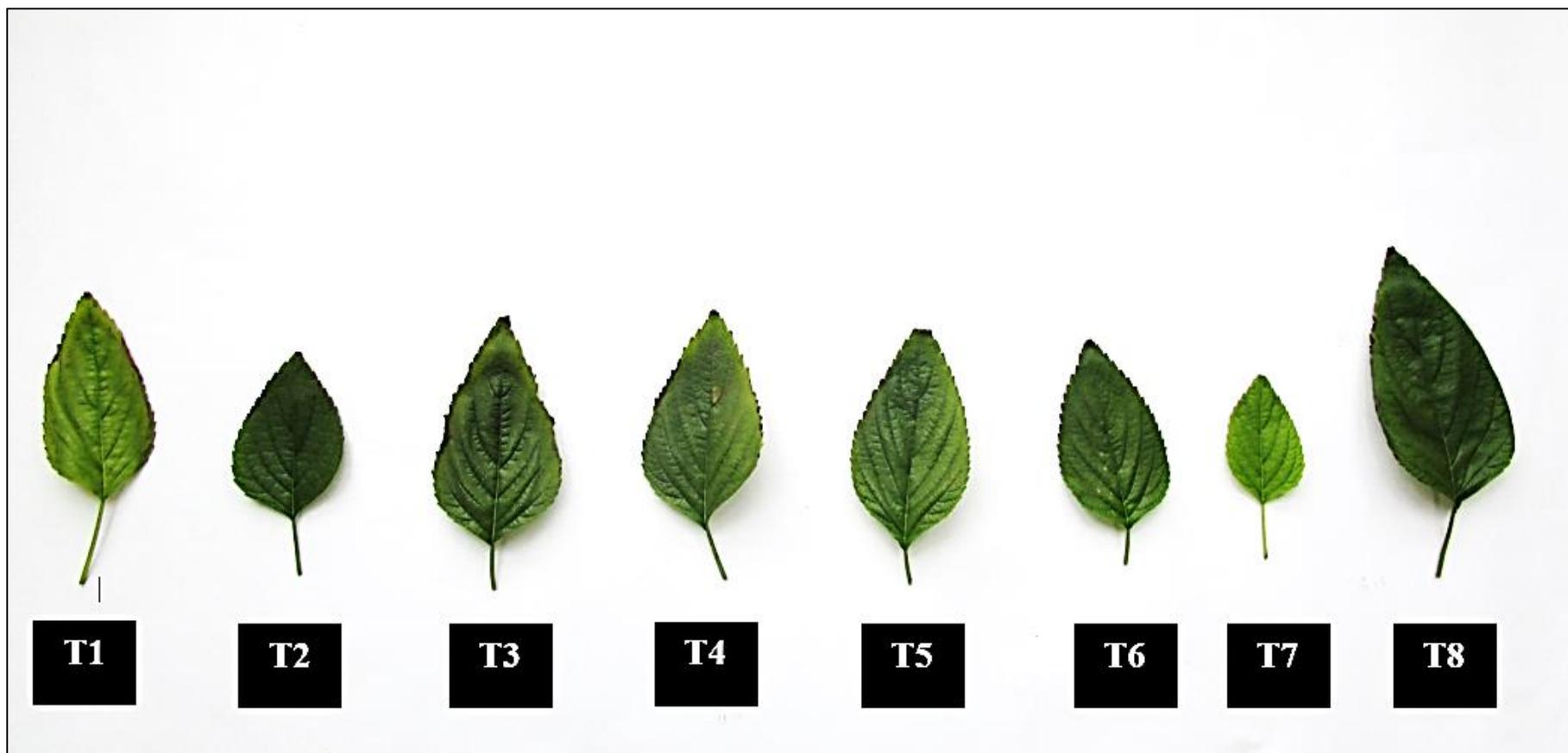
**Anexo 27: Germinación de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.).**



**Anexo 28: Disposición radial de las semillas de chía**



**Anexo 29: Medición de altura de las plantas de chía (*Salvia hispanica* L.)**



**Anexo 30: Comparación de las muestras foliares entre todos los tratamientos aplicados en el experimento**



**Anexo 31: Comparación de las inflorescencias entre todos los tratamientos aplicados en el experimento**