

**CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE NUTRIMENTOS EN DIFERENTES ETAPAS  
DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CALÉNDULA**  
*Calendula officinalis L.*

**Yuly Samanta García Vivas**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE POSGRADOS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS  
2012**

**CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE NUTRIMENTOS EN DIFERENTES ETAPAS  
DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CALÉNDULA**  
*Calendula officinalis L.*

**Yuly Samanta García Vivas**

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de  
Magister en Ciencias Agrarias**

**Directores**

**Juan Carlos Menjivar Flóres Ph.D.  
Manuel Salvador Sánchez Orozco M.Sc.**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE POSGRADOS  
MAestrÍA EN CIENCIAS AGRARIAS  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS  
2012**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS  
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 02 días del mes de Noviembre de 2012, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por las profesoras Sara Mejía de Tafur y Carmen Rosa Bonilla.

Para calificar la Tesis de Grado de:

**YULY SAMANTA GARCÍA VIVAS**

Titulada:

“CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE NUTRIMENTOS EN DIFERENTES ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CALÉNDULA

*Calendula officinalis* L.” bajo la dirección de Juan Carlos Menjivar Flóres Ph.D y Manuel Salvador Sánchez Orozco M.Sc.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por las investigadoras Sara Mejía de Tafur y Carmen rosa Bonilla, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA

  
SARA MEJÍA DE TAFUR

  
CARMEN ROSA BONILLA

**La Facultad y los Jurados de tesis no serán responsables de las ideas emitidas por la autora de la misma.**

**(Artículo 24, Resolución 04 de 1974 del Consejo Directivo Universidad Nacional de Colombia)**

## DEDICATORIA

A **DIOS**, por otra de sus promesas cumplidas, su constante acompañamiento, sus palabras de aliento a través de su valioso don de la profecía.

A mi tía y madre **Dignora García García**, por ser la persona que se preocupa desde siempre por mi futuro, mi bienestar, por sus palabras de apoyo y su sabio dicho *¡el estudio es lo único que se queda a uno y lo que no se pueden quitar!*

A mi amor **Breno Augusto Sosa Rodríguez**, por su amor, constante apoyo, lealtad, sacrificios, comprensión y compañía idónea

A mí anhelado y esperado hijo **Luan Marcelo Sosa García**

Y

A **Jass Jenny**, padre del suelo

## AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus más sinceros agradecimientos a los siguientes:

A **Dios**, por prometerme esta bendición y cumplirla en tan poco tiempo y, por siempre estar conmigo y los míos.

A mi tía y madre, **Dignora García García**, por todo el apoyo y sacrificios para realizar mis estudios básicos, los cuales me permitieron llegar a estudios superiores. A mi Amor **Breno Augusto Sosa Rodríguez**, por sus palabras de aliento, apoyo incondicional y comprensión en los momentos más difíciles de la investigación.

A los Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por sus importantes observaciones, recomendaciones, enseñanzas y, especialmente a: **Manuel Salvador Sánchez Orozco** por sus recomendaciones, tiempo, calidad humana, consejos, profesionalismo y todo el apoyo brindado, a Juan Carlos Menjivar Flores por su apoyo, recomendaciones, y dirección de la tesis, a Diosdado Baena García por dedicarme tiempo y consejos, a Mario Augusto García Davila, por su ágil gestión y colaboración desde decanatura.

A los agricultores del corregimiento La Olga de Yumbo, y el ingeniero Camilo de la UMATA de Yumbo, por el apoyo en las cosechas realizadas, e información brindada.

Al ingeniero Reinel García Palomino por sus explicaciones, respuestas, voluntad, y vocación de servicio.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira mi alma matter.

DE TODO CORAZÓN MIL GRACIAS

*WILLY SAMANTA GARCIA VIVAS*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 General.....	3
2.2 Específicos .....	3
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Origen de la caléndula .....	4
3.2 La Caléndula en el mundo y Colombia .....	4
3.3 Clasificación taxonómica de la caléndula.....	10
3.4 Descripción botánica de la caléndula .....	11
3.5 Nombres comunes o vulgares de la caléndula.....	13
3.6 Propiedades terapéuticas y usos más comunes de la caléndula .....	14
3.7 Ingredientes activos encontrados en la caléndula .....	17
3.8 Etapas de desarrollo y fertilización en la caléndula .....	17
3.9 Funciones de nutrientes en la planta .....	19
3.9.1 Macronutrientes .....	19
3.9.2 Micronutrientes u oligoelementos.....	25
3.10 Criterio de reposición .....	27
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1 Características del área de estudio.....	29
4.1.1 Localización.....	29

4.1.2 Suelo .....	30
4.2 Diseño experimental .....	30
4.3 Descripción del experimento.....	31
4.3.1 Unidades experimentales.....	31
4.3.2 Toma y preparación de muestras.....	31
4.3.3 Variables de respuesta .....	31
4.3.4 Análisis estadístico de la información.....	32
4.4 Pruebas de laboratorio.....	32
4.4.1 Caracterización física del suelo .....	32
4.4.2 Caracterización química del suelo .....	33
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
5.1 Caracterización del suelo.....	35
5.1.1 Físicas .....	35
5.1.2 Químicas .....	35
5.2 Dinámica de macronutrientes en diferentes etapas de desarrollo y ciclo total de la caléndula. ....	38
5.3 Dinámica de macronutrientes en órganos de caléndula a través de diferentes etapas de desarrollo .....	44
5.4 Dinámica de micronutrientes en diferentes etapas de desarrollo y ciclo total de la caléndula .....	51
5.5 Dinámica de micronutrientes y elemento benéfico en órganos de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo.....	57
5.6 Análisis de componentes principales (ACP) para las variables evaluadas .	63
5.7 Correlaciones entre relaciones de nutrientes modelada para capítulos florales. ....	67
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>

**BIBLIOGRAFÍA.....72**  
**ANEXOS .....79**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Descripción botánica de la Caléndula.....	11-12
2. Funciones de oligoelementos en la planta.....	26-27
3. Descripción de los tratamientos empleados en el ensayo.....	31
4. Determinaciones, métodos y referencias utilizados en los análisis de las propiedades químicas intercambiables del suelo.....	33
5. Determinaciones, métodos y referencia utilizados en los análisis de las propiedades químicas del suelo en la fase soluble.....	33
6. Determinaciones y métodos utilizados para obtener las concentraciones de nutrientes en los órganos evaluados.....	34
7. Caracterización física del suelo. Fuente: Laboratorio de física de suelos UNAL Palmira.....	35
8. Características químicas del suelo en las dos profundidades analizadas.....	37
9. Concentración de macronutrientes (%) en órganos de la planta de caléndula a través del diferentes etapas de desarrollo.....	50
10. Concentración de micronutrientes y elemento benéfico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en órganos a través del diferentes etapas de desarrollo.....	62
11. Matriz de componentes y valores propios de las variables originales evaluadas en la dinámica nutricional estudiada.....	65
12. Correlaciones entre concentración de macronutrientes en capítulos florales obtenidos durante todas las etapas de desarrollo evaluadas.....	67

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Especies con mayor volumen de venta según criterio de los laboratorios.....	6
2. Especies de mayor comercialización en Colombia.....	7
3. Ubicación del corregimiento La Olga en el municipio de Yumbo, departamento Valle del Cauca, Colombia.....	29
4. Concentración de macronutrientes en la planta (tallos + hojas + flores) en cada etapa de desarrollo (tratamiento = mes). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.....	40
5. Concentración de macronutrientes en la planta completa (tallos + hojas + flores + semillas) en toda la etapa de desarrollo (mes 2 + 3 + 5 + 6 + 7). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.....	44
6. Concentración de macronutrientes en órganos (tallos, hojas, flores y semillas) de la planta de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.....	47
7. Concentración de micronutrientes en la planta (tallos + hojas + flores) de caléndula durante cada etapa productiva (tratamiento = mes). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan .....	55
8. Concentración de micronutrientes y elemento benéfico en la planta completa (tallos + hojas + flores + semillas) en toda la etapa de desarrollo (mes 2 + 3 + 5 + 6 + 7) expresados en porcentaje relativo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.....	56

<b>9.</b> Concentración de micronutrientes y elemento benéfico en órganos (tallos, hojas, flores y semillas) de la planta de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.....	59
<b>10.</b> Asociación de nutrimentos en órganos formados en tres componentes principales.....	66
<b>11.</b> Relaciones N/P, N/S y su influencia en la concentración de nitrógeno en capítulos florales .....	68
<b>12.</b> Relaciones P/Ca, P/Mg y su influencia en la concentración de fósforo en capítulos florales .....	69
<b>13.</b> Relaciones K/Mg, P/S y su influencia en la concentración de magnesio y azufre en capítulos florales .....	70

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>A.</b> Análisis de varianza, comparación de promedios según Duncan al $P < 0.05$ para macronutrientes por etapas de desarrollo, órganos evaluados y ciclo total.....	79
<b>B</b> Análisis de varianza, comparación de promedios según Duncan al $P < 0.05$ para micronutrientes por etapas de desarrollo, órganos evaluados y ciclo total.....	82
<b>C.</b> Análisis químico en fase soluble del suelo a las dos profundidades analizadas .....	84
<b>D.</b> Índices de correlaciones significativas y no significativas entre nutrientes según Pearson en todo el desarrollo del cultivo.....	85
<b>E.</b> Recomendaciones para posteriores investigaciones. ....	90

## RESUMEN

La utilización de las plantas medicinales es una actividad reconocida y suficientemente documentada desde épocas ancestrales por su impacto hacia la salud de las personas, siendo más relevante ante las poblaciones actuales; a pesar de ello los estudios sobre la nutrición vegetal, actividad fundamental en la producción agrícola y su conocimiento para pequeños productores, su manejo y estudios son escasos en las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos. Por tales motivos se condujo este estudio en condiciones de campo en el corregimiento Los Cerros de La Olga, municipio de Yumbo, departamento Valle del Cauca – Colombia. Con el objetivo de tener una referente sobre la concentración de macro y micronutrientes, y sus interrelaciones en la planta de caléndula en sus diferentes etapas de desarrollo. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos, constituidos por etapas productivas (mes 2, 3, 5, 6 y 7) y, tres repeticiones. Analizando el concentración de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, B, Cu, Mn y Zn) en órganos (tallo, hoja, capítulo floral y semilla) de la planta. El análisis estadístico de la información se realizó con el paquete SAS versión 9.1, realizando análisis de varianza, prueba diferencia de medias según Duncan, análisis de correlación y regresión entre nutrimentos, y análisis de componentes principales. Los resultados indican que para macronutrientes, la mayor concentración en todo el ciclo en su orden fue:  $K > N > Ca > P > Mg > S$ . Las mayores concentraciones se localizaron en los capítulos florales (N y P), las hojas (Ca, Mg y S) y los tallos (K). Demandando la mayor cantidad en el tercer y séptimo mes (N); segundo y tercero (P, K y Mg); segundo y sexto (Ca) y, quinto y séptimo (S). Para micronutrientes la mayor concentración en todo el ciclo fue de  $Na > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ . Las mayores concentraciones se localizaron en las hojas (Na, B, Cu, Mn y Zn) y, capítulos florales (Fe). Demandando la mayor cantidad en el segundo y sexto mes (Na); quinto (B y Fe); tercero (Cu y Zn) y, tercero y quinto (Mn). Para macronutrientes en capítulos florales, se encontraron algunas correlaciones significativas de N con P y K y Ca y, para Mg con P y N. Las regresiones mostraron que para aumentar la concentración de N y P debe aumentar la relación N/P y N/S y P/Ca, respectivamente.

**Palabras claves:** Asterácea, nutrientes, nutrición vegetal, plantas medicinales.

## ABSTRACT

The use of medicinal plants is a recognized and well documented since ancient times for its impact to the health of people, being more relevant to current populations, nevertheless studies on plant nutrition, essential in the production activity Agricultural and knowledge to small producers, management and studies are scarce in the different stages of crop development. For these reasons this study was conducted under field conditions in the village the hills of Olga, Yumbo, Valle del Cauca department - Colombia. The goal to have a reference on the content of macro-and micronutrients and their interrelations in the marigold plant at different stages of development. It's used a completely randomized design with five treatments, consisting of production stages (month 2, 3, 5, 6 and 7) and three replications. Analyzing the content of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, B, Cu, Mn and Zn) in organs (stem, leaf, flower and seed) of the plant. Statistical analysis of the information was performed with SAS version 9.1 package, performing analysis of variance, mean difference according to Duncan and correlation and regression analysis between nutrients, among other major components. The results indicate that for macronutrients, the highest concentration in the entire cycle in order was:  $K > N > Ca > P > Mg > S$ . The highest contents were found in chapters floral (N and P), leaves (Ca, Mg and S) and stems (K). Demanding the most in the third and seventh month (N), second and third (P, K and Mg), second and sixth (Ca) and, fifth, and seventh (S). For the highest micronutrient concentration throughout the cycle was:  $Na > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ . Higher contents were found in the leaves (Na, B, Cu, Mn and Zn), and floral chapters (Fe). Demanding the most in the second and sixth months (Na), fifth (B and Fe), third (Cu and Zn) and, third and fifth (Mn). For macronutrients floral chapters, we found some significant correlations of N with P and K and Ca and Mg for P and N. The regressions showed that to increase the concentration of N and P must increase the relation  $N/P$  and  $N/S$  and  $P/Ca$ , respectively.

**Keywords:** Asteraceae, nutrients, plant nutrition, medicinal plants.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción comercial en los agroecosistemas está asociada a la nutrición mineral de las plantas a través de fertilizantes orgánicos y de síntesis, y el conocimiento del aporte de nutrimentos que hace el suelo y sus demandas en los procesos fisiológicos de la planta, permite formular y proveer una adecuada fertilización y garantizar su productividad, ya que nutricionalmente, los macro y micronutrientes contribuyen al crecimiento y desarrollo en la fase vegetativa y productiva de la planta, promoviendo indirectamente su crecimiento y sanidad (Rao, 2009; Benton, 1998).

El ofrecer un programa de fertilización adecuado de origen industrial u orgánico, no sólo garantiza mayor rentabilidad del agroecosistema y, por ende mayores beneficios financieros y económico-sociales para el productor, sino que minimiza el impacto ambiental por contaminación de aguas, aire, suelos y personas. Esto contribuye en crear un programa más eficiente alcanzando gradualmente la sostenibilidad de los sistemas en contexto (Valencia, 1999; Cenicafé, 2007).

Para llegar a tal punto, debe existir un balance armónico entre las pérdidas y aportes de nutrientes que requieren las plantas; Alarcón (2000) confirma que la fertilidad del suelo se mantiene cuando las exportaciones son compensadas por las aportaciones. El estudio de la dinámica nutricional a través de la relación suelo-planta-ambiente constituye el punto de partida para lograr un manejo eficiente de nutrientes y responder a las necesidades de los cultivos. (SCCS, 2010).

Las plantas medicinales no son la excepción, desconocer sus requerimientos nutricionales implica no saber si se está sub o sobre-dosificando y, por ende, limitar el potencial productivo o causando graves pérdidas económico-sociales para el productor y potencializando la contaminación ambiental.

En Colombia el desafío es grande, y existe muy poca información concerniente a la nutrición mineral de las plantas medicinales en sus diversas localidades y con gran demanda para fines culinarios, aromáticos, estéticos y medicinales. En el Valle del Cauca sobresalen especies sembradas como Té con 60 ha, sábila con 10 ha, Estevia con 5 y otras más, entre ellas la caléndula (*Calendula officinalis* L.) (SISAV, 2010). La especie con mayor volumen de comercialización en el país es la caléndula, con una frecuencia relativa de 26,9%, siendo utilizada por el 72% de los laboratorios.

Si bien, la mayor información disponible se encuentra a nivel de laboratorio e invernadero, en el presente trabajo se aporta información inédita sobre las demandas nutricionales de la caléndula en condiciones de campo y con ello brindar lineamientos sobre programas más eficientes de fertilización para los cultivos en la zona y país.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Evaluar el concentración y distribución de macro y micronutrientes a través del diferentes etapas de desarrollo de *Calendula officinalis* L. en condiciones de campo.

### **2.2 Específicos**

Evaluar el concentración y distribución de macronutrientes por órganos (tallos, hojas, flores y semillas) en diferentes etapas de desarrollo de *C. officinalis* L.

Evaluar el concentración y distribución de micronutrientes por órganos (tallos, hojas, flores y semillas) en diferentes etapas de desarrollo de *C. officinalis* L.

Identificar las relaciones entre macro y micronutrientes en diferentes etapas de desarrollo de *C. officinalis* L.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Origen de la caléndula

En cuanto al origen de la caléndula existen muchos reportes coincidiendo en que no se conoce a ciencia cierta su origen. Por otra parte, autores expresan sus veracidades y con ello sus diferencias. Se dice que es originaria de la región mediterránea (Berti, 2003; Fuentes, 2000). O podría ser de la parte sur y centro de Europa y del norte de Africa (Egipto) (Universidad Nacional de Colombia, 2009).

Por otra parte Moore *et al.* (2005) comentan que la caléndula (*Calendula officinalis* L. – Asteráceas) es una planta medicinal la cual es originaria de Egipto, aunque se cree que su introducción en Europa data del siglo XII, esta planta se ha extendido por todo el mundo y en la actualidad se puede encontrar en los jardines como planta ornamental, aunque la planta no es muy utilizada como ornamental ya que posee un olor desagradable y su mayor uso se da en la medicina.

Se utiliza en la región mediterránea desde la época de los antiguos griegos y con anterioridad era conocida con los hindús y los árabes. El nombre genérico, Caléndula, deriva del latín caléndula que significa “a lo largo de los meses”, con lo que se quiso subrayar el largo periodo de floración que tiene esta planta; el nombre específico, *officinalis*, expresa su carácter medicinal (Muñoz, 2004).

#### 3.2 La Caléndula en el mundo y Colombia

Colombia cuenta con muy poca información científica sobre la nutrición mineral y requerimientos edafoclimáticos de plantas medicinales en sus diversas localidades, por ejemplo en el Valle del Cauca hay 173 has sembradas en cultivos como té con 60 has, Sábila con 10 has, Estevia con 5 has y otras 60 especies,

entre las que se destacan el Tomillo, Orégano, Caléndula, Albahaca, Menta, Romero, Limoncillo y Vetiver (SISAV, 2010).

El incremento mundial que ha generado la utilización de este tipo de especies y productos derivados de las mismas, este tipo de mercado en el cual prima los productos naturales se ha convertido en una industria de talla mundial, muestra de esto son la producciones mundiales de plantas aromáticas y especias las cuales llegaron a 7,6 millones de toneladas en el año 2006 (Conpes 3514, 2008).

Los principales países productores son la India concentrando el 83% de la producción mundial, seguido de China, Turquía, Bangladesh y Pakistán. Las importaciones mundiales alcanzaron las 1.547 toneladas en el año 2004 donde los principales países importadores de especias son Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, Singapur, Arabia Saudita y Malasia. Las exportaciones mundiales en el año 2004 sumaron US \$2.973 millones, siendo los principales exportadores China, India, Madagascar, Indonesia, Vietnam, Brasil y España. El área sembrada también se ha incrementado presentando una tasa de crecimiento promedio anual de 16% al pasar de 358 hectáreas en 2000 a 713 en el año 2005 (Conpes 3514, 2008).

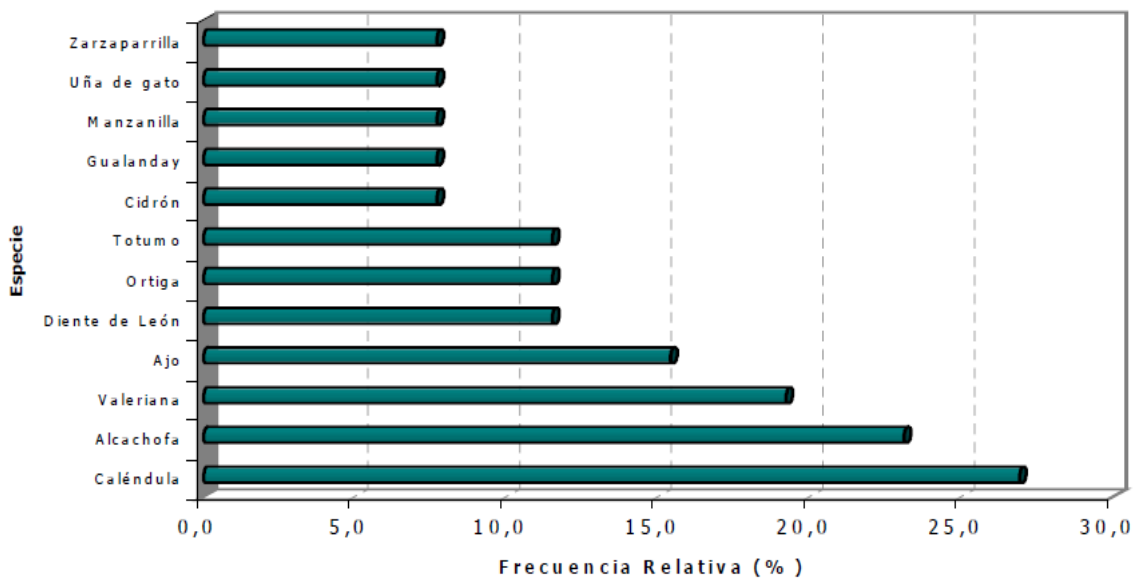
Ante esta gran apertura de oferta y demanda a nivel mundial, Colombia brinda una apertura creando la cadena de las plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y aceites esenciales, propuesta productiva priorizada en la agenda interna y exportadora y, en el plan de biorregión debido a sus altas potencialidades representadas especialmente en la comercialización de extractos y fitoterapéuticos (SISAV, 2010).

La información sobre la caléndula y otras especies data de la encuesta realizada en 11 laboratorios naturistas del país, esta especie herbácea de la familia de las compuestas se le atribuyen múltiples propiedades medicinales, además fue aprobada por el instituto nacional de vigilancia de medicamentos y alimentos

(INVIMA) para su comercialización como materia prima en la fabricación de fitofármacos en Colombia. Por sus múltiples beneficios como condimento, ornamental y en especial su uso medicinal es ampliamente demandada, usada y comercializada (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2001).

En la Figura 1. se observa que la especie con mayor volumen de comercialización en el país es la Caléndula con una frecuencia relativa de 26,9%, seguida por la Alcachofa que presenta una frecuencia de 23,1% y la valeriana registrada por el 19,2% de los laboratorios y, entre otras, el Ajo reportada por un 15,4% de los laboratorios naturistas, encontrando que en el país se comercializan aproximadamente 156 plantas medicinales y aromáticas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2001).

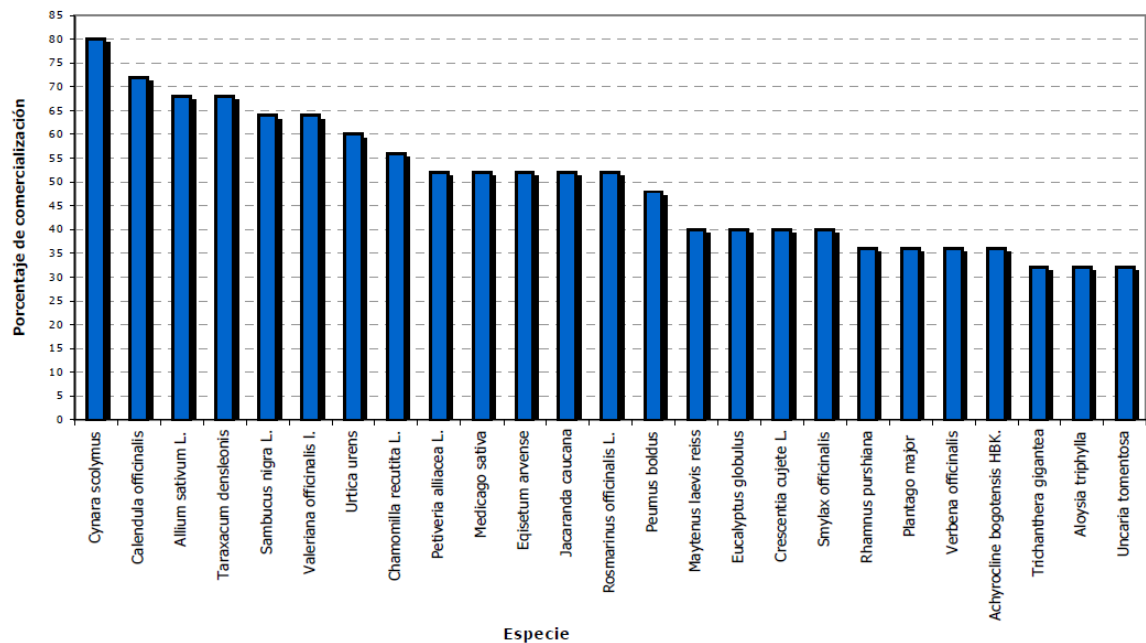
**Figura 1.** Especies con mayor volumen de venta según criterio de los laboratorios.



Para lo cual, la Caléndula es la segunda más empleada con un 72% de los laboratorios (Figura 2), siendo la materia prima procedente de cultivos de los municipios de La Vega, Albán, Villeta y Tocaima, en el departamento de

Cundinamarca, con precios que oscilan entre \$1.500 y \$16.000/kg, con un promedio de \$7.800/kg. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2001).

**Figura 2.** Especies de mayor comercialización en Colombia.



De acuerdo con los resultados obtenidos en la encuesta, se concluye que la mayoría de las plantas medicinales y aromáticas comercializadas son herbáceas; en este grupo se encuentran las dos plantas con mayor porcentaje de utilización en el país, caléndula y alcachofa, pertenecientes ambas a la familia de las compuestas y de las cuales puede emplearse la planta completa.

Díaz (2006) expresa que estos estudios permiten exponer la demanda de los laboratorios naturistas hacia estas especies, como la *Calendula officinalis* L., *Taraxacum officinale*, *Allium sativum*, *Valerina officinalis*, *Rosmarinus officinalis*. El país mediante el cultivo, produce y exporta en el presente con fines culinarios alrededor de 3 mil toneladas anuales.

Las plantas medicinales aromáticas y condimentarias (P. M .A. y C) se utilizan por sus propiedades terapéuticas, aromáticas, insecticidas, fungicidas naturales, ornamentales, acción farmacológica, etc., la caléndula, se utiliza como planta medicinal, condimentaria y ornamental, reconocida por ser la base de productos con finalidad terapéutica y, es autorizada por INVIMA como planta medicinal para su comercialización (Universidad Nacional de Colombia, 2009). A su vez se encuentra entre los 15 primeros cultivos en producción y, se comercializan 60,52 toneladas al año.

Hoy en día, se ha logrado que la agricultura ponga más atención sobre estos sistemas de producción, ya que las exportaciones de plantas aromáticas pasaron de 1.869 a 2.898 toneladas durante el periodo 2000 al 2006, lo que representó una tasa de crecimiento promedio anual de 6,5%. Asimismo, el valor de las exportaciones paso de US\$ 3.718.000 a US\$ 5.469.000 durante el mismo periodo, con una tasa de crecimiento promedio anual del 5,7%. Las importaciones pasaron de 2.152 a 2.297 toneladas entre 2000 y 2006, con una tasa de crecimiento promedio anual de 0,9%. Igualmente, el valor pasó de US\$ 6.503.000 a US\$ 4.610.000 durante el mismo periodo, con una tasa de crecimiento promedio anual del -4,8% (Conpes 3514, 2008).

Los datos antes mencionados indican el elevado crecimiento y el potencial de las plantas medicinales. Por lo tanto, debido al crecimiento demográfico, lo cual influye en una alta demanda de productos, se ve la necesidad de aumentar la producción y la productividad a bajos costos y en el menor tiempo posible, tarea que será difícil de cumplir, ante los problemas de altos costos de producción y ambientales por el mal manejo de las prácticas que incurre el agroecosistema.

El buen manejo agronómico del cultivo permite obtener alta productividad y por ende, un buen ingreso económico-social, cuyo efecto es promisorio sobre la sostenibilidad del sistema. En Colombia la fertilización de esta especie se realiza sin ninguna valoración científica, además se desconoce tanto los requerimientos

nutricionales como la extracción de nutrientes durante las diferentes etapas de desarrollo, por lo que podría generarse pérdidas para el productor y contaminación ambiental.

En los últimos 150 años se ha visto la necesidad de aplicar fertilizantes para suplir los nutrientes esenciales de los cultivos, generando contaminación en suelo, aire, agua y personas, agudizando la problemática cuando es acompañada por el manejo inadecuado en las prácticas que incurre el agroecosistema, además reduce de beneficios económicos para los productores. El minimizar este impacto requiere de investigación para contribuir a utilizarlos racionalmente y con ello contribuir con la sostenibilidad y rentabilidad respectivamente en el sector agropecuario (Valencia, 1999).

Ante el retroceso que ha sufrido el sector agrícola de la región y el país, es necesario identificar nuevas alternativas productivas entre las que se encuentran las plantas medicinales, aromáticas, y condimentarias, aceites esenciales y sus subproductos. Los diagnósticos elaborados por el grupo técnico facilitador (GTF) indican que en el Valle del Cauca, excluyendo los cultivos de té (60 ha), ají (300 ha), sábila (11 ha), el resto de especies sembradas y comercializadas, que son aproximadamente 50, cubren un área de 90 ha pertenecientes a 271 productores (SISAV, 2010).

Generando en el sector rural 360 empleos directos y 1080 indirectos, el sector semi-transformador representado por 17 empresas de fitoterapéuticos y cosméticos formalmente constituidas en la región provee aproximadamente 200 empleos directos anuales. Pese al crecimiento internacional de la demanda de productos naturales, es claro que el sector primario está estancado, sea por políticas del gobierno como insuficiencia financiera y técnica en programas de producción y comercialización. (SISAV, 2010), o por malos manejos y prácticas agronómicas.

### 3.3 Clasificación taxonómica de la caléndula

**REINO:** Plantae (vegetal)

**SUBREINO:** Tracheobionta

**PHYLUM:** Angiospermophyta (plantas con flores), cormophyta

**DIVISION:** Anthophyta o Magnoliophyta ó spermatophyta

**SUBDIVISION:** Angiospermae

**CLASE:** Magnoliopsida ó Dicotyledoneae

**SUBCLASE:** Gamopétalas (metaclamideas), sympetalae, Asteridae

**ORDEN:** Asterales Link.

**FAMILIA:** Asteraceae, ó compositae Bearcht. & J. Presl

**SUBFAMILIA:** Asteroideae

**TRIBU:** Calendulae

**GENERO:** Calendula

**ESPECIE:** *officinalis* L.




**Otras especies:** *arvensis* L., *suffruticosa* Vah L., *tripterocarpa* Rupr.

(Pérez, 1956; García, 1975; Sánchez-Monje E.1980)

### 3.4 Descripción botánica de la caléndula

La caléndula es una hierba anual más o menos pelosa, planta herbácea anual (en raras ocasiones también bianual). Las características morfológicas se observan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción botánica de la caléndula.

<p><b>Altura</b></p>	<p>Alcanza 30 a 60 cm de altura y termina en capítulos solitarios, sobre cuyo disco se insertan.</p>
<p><b>Tallos</b></p> 	<p>Gruesos o robustos, angulosos, tomentosos, carnosos, ramificados y jugosos. Los tallos generalmente se encuentran inclinados y caídos.</p>
<p><b>Hojas</b></p> 	<p>Simple, alternas, gruesas, de oblongas a obovado-oblongas, enteras o diminutas, lanceoladas o espatuladas las inferiores, con bordes levemente dentados, opuestas, alargadas, con un poco de tricomas que les da una suave textura y de color verde pálido.</p>
<p><b>Flores o capítulos florales</b></p> 	<p>Las inflorescencias son de color amarillo fuerte, a naranja oscuro o rojas, con el centro amarillo oscuro, que despide un olor desagradable las flores mas grandes pueden tener un diámetro aproximado de 5 cm. Están ubicadas en cabezuelas solitarias con pedúnculos robustos, vistosos de 3,75 a 5 cm de diámetro; los radios planos, que se cierran por la noche; a veces la planta es prolifera desde el involucre, y porta varias cabezuelas pedunculadas en un círculo. Macroscópicamente se observan sin ovario. Los capítulos más que inflorescencias parecen flores.</p>

  	<p>Cada capítulo está rodeado de un involucre, que no es más que un conjunto de brácteas con la apariencia de pétalos.</p>
<p><b>Fruto</b></p>   	<p>Es un aquenio, encorvados, en forma de barquillo y con púas dorsales o tres alas membranosas; los inferiores son más pequeños y casi encerrados en círculo a manera de pequeños gusanos. Los frutos no poseen milano.</p>

(Barry, 2009; Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, 2009; Rivera, 2000). Fotos : (García, 2011-2012)

### 3.5 Nombres comunes o vulgares de la caléndula

Alrededor del mundo las personas dan nombres comunes y/o vulgares, los siguientes son algunos de ellos en diferentes países.

**Colombia:** Caléndula, flor de muerto, maravillosa, maravilla, maravilla del crisol, flor de todos los meses.

**Venezuela:** Maravilla silvestre

**Cuba:** Copetuda, flor de muerto, mercadela, flamequilla

**Brasil:** Bem-me-quer, mal-me-quer do campo, caléndula, bem-me-quer de todos, bem-me-quer os meses

**Chile:** Chinita

**Alemania:** Reingelblume

**Catalán:** Caléndula, flor de tot l'any, gojat, gaujat, boixac, gauget, gaugé, groguet, jaumet, galdiró, garronada, lleeamá, clavellina de mort, flor d'albat, mal d'ulls

**EEUU:** Pot marygold, pot

**España:** Caléndula, caldo, flor de todos los meses, maravillas mejicanas o simplemente, mejicanas, maravillas tudescas, tudescas, flamequillas, flamencuella, mercadela, reinita, flor de muerto, rosa de muertos, flor de difunto, corona del rey, la hierba del podador

**Francia:** Souci, soucides jardins

**Gallego:** Boninas

**Inglaterra:** Marygold, scotch marygold, pot marigold, ruddles, nen-and-chickens

**Italia:** Callandria, fiorrancio, margarita, gaugian, fior d'mort, courtesia, situole, fior de San Peder, dormioti, calendria, madalenis, purcitis, gazán, gazant, calenna, rilogiu di pelligrini, capuchina dei campi

**México:** Mercadela, maravilla, caléndula, altareyna

**Portugal:** Maravillas, boninas, cuidados, caléndula, mal-querer

**Suiza:** Illen

**Vasco:** Illen, iherrilili que significa flor de cementerio

(Colegio Oficial de Farmaceuticos de Bizcaia, 2000; Ministerio de la Protección Social República de Colombia, 2008; Vander,1964).

### **3.6 Propiedades terapéuticas y usos más comunes de la caléndula**

La caléndula es ampliamente utilizada para remediar o curar muchas afecciones y enfermedades por su amplia acción farmacológica; entre las partes de la planta que más se usan están las flores (capítulos) y/o las hojas. Es ampliamente utilizada vía tópica y, entre los usos más comunes y propiedades terapéuticas demostradas científicamente están:

**Antiespasmódica:** ayuda reducir los espasmos, antiséptico, desinflamante o Anti-inflamatoria, captador de radicales libres.

**Anti parasítica:** es eficaz para matar los parásitos intestinales, por su acción parasiticida.

**Antiséptica y Cicatrizante:** al potenciar la epitelización y regeneración de la piel dañada, estimulando la síntesis de glicoproteínas, nucleoproteínas colágeno durante el periodo de regeneración tisular, por esto es muy utilizada para combatir el acné, las picaduras de insectos, tratamiento en quemaduras de primer grado,

sana y alivia las quemaduras ya que reduce la inflamación y tiene acciones astringentes, antisépticas y calmantes, a la vez que ayuda a una más rápida curación. Dado que la mayoría de las quemaduras producidas por el sol son quemadura del primero grado, resulta lógico que muchos de los productos prescritos para quemaduras solares contengan caléndula.

**Picaduras de insectos:** La caléndula puede reducir la inflamación y el prurito producido por picaduras de insecto, e incluso puede ayudar a prevenir la infección debido a sus acciones anti-microbianas. A su vez su acción astringente promueve una curación más rápida. Disminuye considerablemente la sensación de prurito.

**Problemas dérmicos:** Muy conveniente para tratar problemas de la piel como el acné, forúnculo, abscesos, dermatitis exfoliativa, irritaciones cutáneas, forúnculos, abscesos, dermatitis, grietas, piel seca y sensible, gingivitis y llagas, escaldaduras,

**Acción antibacteriana y fungicida:** Ideal para tratar el pie de atleta. Diversas investigaciones en laboratorio han demostrado que la Caléndula tiene efectos fungicidas anti-fúngico.

**Acción emenagoga:** como regulador de los períodos menstruales y calmantes de los dolores propios, vulvovaginitis, distrofia de la mucosa vulvovaginal, trastornos del climaterio femenino.

**Emoliente:** Suaviza, tonifica e hidrata la piel. De hecho cada vez son más los productos cosméticos que incluyen la Caléndula entre sus componentes.

**Callicida:** Puede hacer desaparecer las verrugas víricas de la piel, debido a su concentración en ácido acetil-salicílico.

**Colerética:** Estimulante de la actividad hepática, especialmente de la secreción biliar. Tomada en infusión resulta indicada en casos de congestión o insuficiencia hepática.

**Anti ulcerosa:** Cicatriza úlceras de estómago y duodeno. También resulta eficaz en gastritis, gastroenteritis y vómitos, cáncer de estómago.

**Heridas ulcerosas:** Muchos especialistas recomiendan gargarizar con una mezcla de Caléndula para luchar contra los gérmenes y la inflamación asociada estas heridas dolorosas.

**Curación de heridas:** Acelera la curación de cortes y arañazos. La Caléndula es uno de los remedios más comunes para tratar las heridas superficiales y menores de la piel, como cortes y arañazos, ayudando a que la herida cure más rápidamente.

**Sangre:** aumenta los glóbulos rojos, y depura la sangre.

**Afecciones respiratorias:** gripa, catarro, influenza, tos.

**Calmante:** las flores tienen efecto tranquilizante y disminuyen la excitación.

No se recomienda que la tomen en cantidades las mujeres embarazadas.

La Caléndula también es cultivada como flor de corte, ornamental, planta medicinal y también como oleaginosa industrial. El aceite que contiene la semilla puede emplearse en la manufactura de revestimientos, pinturas y cosméticos, por lo cual está aumentando el interés por su uso industrial, es utilizada como colorante natural, para condimentar.

(Berti, 2003; Colegio Oficial de Farmaceuticos de Bizcaia, Asociacion Española de Medicos Naturistas, 2000; Universidad Nacional de Colombia, 2009; Arias Alzate, 1975; Vander, 1964; Aguila, 2000).

### **3.7 Ingredientes activos encontrados en la caléndula**

Aceite esencial (0,1-0,4%): gamma-terpineno, mu-uroleno, carvona, genilacetona, cariofilenocetona, carvona, gerailacetona, cariofilenocetona, sesquiterpenos (epicubebol, aloromadendrol).

Flavonoides: rutosido, isoharmentina, quercetina, calendoflosido, calendoflavonosido, isoquercitina y kamferol eosesperidosido. Saponosidos (2-5%).

Alcoholes triterpenicos, taninos, triterpenoides pentaciclicos y esteroides libres, esterificados, y glucosilados (amirina, taraxaxasterol, arnidol, faradiol).

Esteroides, carotenoides, pigmentos xantofilicos; ácidos fenolcarboxilicos; principio amargo (calendina); taninos polisacáridos (galactanas). Calendulina. En las flores está presente la carotina, así como ésteres colesterinicos del ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido pentadecílico entre otros.

(Barry, 2009; Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, 2009; Colegio Oficial de Farmaceuticos de Bizcaia).

### **3.8 Etapas de desarrollo y fertilización en la caléndula**

Según Gómez *et al.* 2010 los días de germinación son de 6-10, aquí se da la emergencia de la plántula y la aparición de las hojas cotiledonales, en la emergencia se observa el hipocotile empujando al epicotile y a los cotiledones, haciéndolos emerger sobre la superficie del suelo y, en la etapa cotiledonar, el cotiledón se endereza y se despliegan totalmente. El primer par de hojas opuestas verdaderas aparecen a los 17 dds y este estado se prolonga hasta la primera floración.

Después de la siembra y cuando la planta alcanza 10 – 15 cm de alto entre 35 a 45 días se realiza el trasplante (Gómez *et al.*, 2010). La floración se extiende hasta

los 115 dds. En los estados primarios se observaron hojas alternas con inflorescencia axilar y entrenudos largos y en el estado final de la floración un par de hojas opuestas de las que se desarrollaron tres ejes con inflorescencia terminales, con la cual la planta se detiene su crecimiento. La fructificación se presenta a los 115 dds cuando el involucro del capítulo se torna café, esta fase termina alrededor de los 169 dds (Bonilla *et al.*, 2007).

El inicio y duración de la cosecha varía acorde al manejo del cultivo y condiciones edafoclimáticas, normalmente se inicia cuando el 10 % de la población se encuentra con los capítulos florales abiertos. Esto suele ocurrir entre los 60 y 70 días después de la siembra o 45 días después del trasplante, la frecuencia de cosecha puede ser entre 5 y 7 días dependiendo de las condiciones del clima, pueden hacerse entre 10 y 14 cosechas dependiendo del manejo de la plantación (Fuentes *et al.*, 2000). El ciclo completo de la planta se encuentra entre los 201-210 dds (Bonilla *et al.*, 2007). Además, después de cada cosecha se debe realizar un riego y, la duración del ciclo es de 210 días o más desde la germinación.

### **Fertilización**

En Colombia la fertilización de esta especie se realiza de forma empírica, sin evaluaciones ni recomendaciones técnicas. Además no se conoce su requerimiento nutricional, extracción de nutrientes y menos, el correcto fraccionamiento en los diferentes estados fenológicos de la planta, por lo tanto, los productores están expuestos a gastos innecesarios, elevando los costos de producción y desaprovechando el potencial productivo de la planta. Potenciando la contaminación ambiental por el uso irracional de los fertilizantes de síntesis especialmente (Valencia, 1999).

La Caléndula requiere suelos con buena materia orgánica, varios investigadores sugieren usar y aplicar abonos orgánicos como 3 kg/m<sup>2</sup> de gallinaza, 5 kg/m<sup>2</sup> de estiércol bobino compostado (Correa *et al.*, 1991 citado por Rivera, 2000). Para la

fertilización mineral se recomienda 50 Unidades de N, 80 Unidades de ácido fosfórico, 100 Unidades de K (Muñoz, 1993 citado por Rivera, 2000).

Svanidze *et al.* (1975) y Hornok (1992) sugieren fertilizar con 40-60 kg/ha de N y 60-80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La fertilización se debe realizar preferiblemente más rica en potasio y fósforo que nitrógeno, puesto que el exceso de éste favorece el desarrollo exuberante de follaje y un detrimento de la floración y tamaño de los capítulos (Piñeros *et al.*, 1992 citado por UNAL, 2009).

### **3.9 Funciones de nutrientes en la planta**

Los nutrientes son indispensables para llevar a cabo los procesos metabólicos de las plantas, suelen absorberlos en solución por sus raíces pero también por las hojas, aunque en menor cantidad. Los nutrientes penetran en los tejidos en forma de iones y partículas sumamente pequeñas y ultramicroscópicas que llevan cargas eléctricas, cuando los iones llevan cargas eléctricas positivas se les denominan cationes y, cuando son negativas se les llama aniones (FAO, 1986).

A continuación se mencionan algunos nutrientes y sus funciones dentro de la planta:

#### **3.9.1 Macronutrientes**

##### **Nitrógeno (N)**

Es considerado como el cuarto elemento más abundante en vegetales después del carbono, hidrógeno y oxígeno. Después del agua es el nutriente más importante en el desarrollo de las plantas, junto al P y K, es el elemento clave en la nutrición mineral (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Salisbury *et al.* (1994) comentan que las plantas lo requieren en grandes cantidades, especialmente en fases de crecimiento y productivas, en la atmósfera

ocupa el 78% en volumen. Está involucrado en la mayoría de las reacciones bioquímicas que determinan la vida vegetal, el papel más importante lo juega como estructura de la molécula proteica, también es componente de moléculas muy importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas, coenzimos, en general está implicado en todos los procesos de crecimientos y desarrollo vegetal.

Las purinas y las pirimidinas se encuentran en los ácidos nucleídos, RNA y ADN, esenciales para la síntesis de proteínas (Devlin, 1982). Forma parte también de los ácidos nucleídos y nucleótidos, también de la clorofila, citocromos, fosfolípidos y alcaloides, vitaminas y sistemas de energía de la planta.

Una deficiencia de este elemento en la mayoría de especies vegetales, retarda e incluso paraliza los procesos de crecimiento y desarrollo, las hojas se tornan de verdes a amarillas propiciando una clorosis general hasta un color purpura, causando por la acumulación de pigmentos antocianos, en especial en las hojas más antiguas, lo cual se debe a una inhibición de la síntesis de clorofila (Devlin, 1982).

En casos severos, estas hojas se tornan por completo amarillas y luego se queman a medida que mueren. (Salisbury *et al.*, 1994). La aparición de clorosis en las hojas jóvenes se debe a la elevada movilidad del N en la planta. Las hojas jóvenes retienen el nitrógeno y absorben el procedente de las hojas más antiguas. La disminución del nitrógeno disponible también causa un descenso en la síntesis de proteínas, por lo tanto una disminución del tamaño de las células y especialmente el proceso de la división (Devlin, 1982).

Por el contrario un exceso de N provoca un crecimiento exuberante y suculento de área foliar de las plantas, propiciando mayor sensibilidad al ataque de plagas y enfermedades. En condiciones de exceso, las hojas son de color verde oscuro y, su sistema radicular por lo general es de tamaño mínimo. (Salisbury *et al.*, 1994). Además afecta la absorción de  $K^+$  (Varela y Velásquez, 1998). En algunos cultivos

el exceso determina un retardo en la floración y formación de semilla (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Los suelos suelen ser más deficientes en N que en cualquier otro elemento, aunque la deficiencia de P también es muy común. La mayor parte del N del suelo se encuentra en la fracción de N orgánico, no asimilable por las plantas. De ahí la importancia del proceso de mineralización del N en el suelo, habitualmente controlados por microorganismos, por lo que es muy difícil dictaminar el potencial nutritivo del N en el suelo, aun más si consideramos los procesos de desnitrificación y lixiviación (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Las plantas absorben el N en dos formas iónicas: como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Luego de la absorción de nitratos, tienen que ser reducidos y utilizados por la planta, por ello, la demanda de carbohidratos es menor. El amonio puede actuar como activador de varias enzimas, generalmente los mismos que activa el  $\text{K}^+$ , su absorción suele provocar en las plantas una gran demanda de carbohidratos, a menos que el medio este tamponado. La absorción de amonio tiende a disminuir el pH mientras que la absorción de nitrato tiene efectos contrarios. En la mayoría de los suelos bien aireados los nitratos son la forma principal de reserva nitrogenada, al poder ser utilizado inmediatamente en la síntesis de aminoácidos se requiere un suministro adecuado de esqueletos carbonados que por armonización se transformarán en aminoácidos (UNAL, 2009).

### **Fósforo (P)**

Después del N el P es el elemento más limitante en los suelos. Se absorbe todo como el ion anión monovalente fosfatado ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y con menor rapidez como ión divalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ ). El pH del suelo controla la abundancia relativa de estas dos formas, el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es favorecido a un pH menor de 7 y, el  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  lo es por encima de este valor. Gran parte del fosfato se convierte en formas orgánicas cuando entra en la raíz o después de que es transportado por el xilema hasta el tallo o las hojas.

En contraste con lo que ocurre con el N y el azufre (S), el P nunca es reducido en las plantas, en las que permanece como fosfato, ya sea libre o unido a formas orgánicas tales como ésteres. Las plantas con deficiencia de P presentan enanismo y, en contraste con las que carecen de nitrógeno, con frecuencia tienen color verde oscuro. Algunas veces se acumulan pigmentos del grupo de las antocianinas. Las hojas más antiguas adquieren un color café oscuro a medida que mueren.

La madurez con frecuencia está retardada en comparación con las plantas que tienen fosfatos en abundancia. Si se proporciona fosfatos en exceso, el crecimiento de la raíz con frecuencia se incrementa en relación con el crecimiento de la parte aérea. Esto, en contraste con los efectos del exceso de N que provocan bajas proporciones de la parte aérea-raíz.

El fosfato se redistribuye con facilidad en la mayor parte de las plantas de un órgano a otro, y se pierde en las hojas antiguas, acumulándose en las jóvenes y en las flores y semillas en desarrollo. Como resultado de esto, los síntomas de deficiencia se presentan primero en las hojas maduras.

El P es parte esencial de muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos y, también forma parte de nucleótidos (como RNA y DNA) y de fosfolípidos presentes en las membranas. Así mismo, es esencial en el metabolismo energético, debido a su presencia en las moléculas de ATP, ADP, AMP y pirofosfato (PPi) (Salisbury *et al.*, 1994).

## **Potasio (K<sup>+</sup>)**

Este elemento es el único catión monovalente (K<sup>+</sup>) que es esencial no solamente para los vegetales sino también para todos los seres vivos, con la excepción de algunos microorganismos en los que puede ser sustituido por el rubidio. Es el catión más abundante de la vacuola y el citoplasma donde puede alcanzar concentraciones de 100 mM y entre 2000 a 5000 ppm en el xilema. Aunque la mayoría de las plantas requieren cantidades relativamente grandes de K<sup>+</sup>, no ha sido aislado ningún metabolito vegetal que contenga este elemento (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Es activador del sistema enzimático. Es el catión maestro de la planta pues activa más de 60 reacciones enzimáticas, constituye del 0.2 al 1.0% de la materia seca (Valencia, 1999).

Entre las principales funciones del potasio están: esencial para la estructura celular, la asimilación del carbono, la fotosíntesis, la síntesis de proteína, la formación del almidón, el desplazamiento de las proteínas y de los azúcares, activador de más de 50 sistemas enzimáticos como acético tiokinasa, aldolasa, piruvato kinasa, succinil-CoA, sintetasas, ATPasas, oxidorreductasas, deshidrogenasas, transferasas y quinasas. Y mantener la turgencia de fisiológica coloidal en el plasma vegetal. (UNAL, 2009).

Además interviene en el metabolismo de glúcidos y proteico, equilibrio hídrico, apertura y cierre estomático mantenimiento de la turgencia celular, absorción y reducción de ión nitrato y división celular, interviene también en la formación de frutos y translocación del hierro (Fe<sup>2+</sup>) y otros metales pesados, en el balance iónico, incrementa la tolerancia a enfermedades y heladas (Varela *et al.*, 1998).

El exceso de este elemento afecta la absorción de calcio (Ca<sup>2+</sup>) y magnesio (Mg<sup>2+</sup>) (Varela *et al.*, 1998). En condiciones de exceso aumenta su consumo, salvo en

semillas y, ese consumo de lujo puede inferir en la absorción y disponibilidad fisiológica de Ca y Mg (Azcón Bieto y Talon, 2008).

Como el N y el P, K se distribuye con facilidad en los órganos maduros a los juveniles, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas antiguas. En las dicotiledóneas las hojas se ponen cloróticas en las cercanías de las lesiones necróticas (manchones oscuros de tejido muerto o agonizante). En muchas monocotiledóneas, como en los cultivos de cereales, las células de las punas y márgenes de las hojas mueren primero y, la necrosis se esparce de manera basipetala a lo largo de los márgenes hacia las partes inferiores. (Salisbury y Ross, 1994; Azcón Bieto y Talón, 2008).

Las formas como se puede encontrar el potasio son tres, no intercambiables o fijas, intercambiables y solubles. Aunque el concentración total de este elemento en el suelo relativamente elevado, la mayor parte es no intercambiable, y por ello, no puede ser aprovechado por las plantas. Sin embargo, la disponibilidad de K en minerales como la abiotita, la moscovita y la ilita se hacen posibles a través de los procesos de meteorización (Devlin, 1982).

### **Calcio (Ca)**

El calcio es acumulado principalmente en las hojas, siendo cofactor de algunas enzimas. En la ausencia de este elemento no ocurre o se ve muy afectada la división mitótica, y es muy necesario en el desarrollo de los meristemas apicales. Es antagónico con el Na, K y Mg, formando parte de la lámina media de la pared celular como pectato de Ca. (Valencia, 1999; Bonilla, 2008). Participa en la síntesis de nuevas paredes celulares, especialmente en la lámina media que separa las nuevas células divididas; es muy necesario para un correcto funcionamiento de las membranas y ha sido implicado como segundo mensajero en diferentes respuestas de las plantas tanto en señales ambientales, como luz, temperatura, pH, entre otras (Bonilla, 2008, Taiz y Zeiger, 2006).

La acción del calcio en la transpiración es antagónica con la del potasio, si bien la relación de equilibrio entre ambos cationes varía con la especie e incluso entre variedades. Por ello, el efecto del calcio aportado con el encalado (especialmente en condiciones de déficit hídrico) puede ser perjudicial si al mismo tiempo no se adiciona potasio (Monge *et al.*, 1994).

Como el  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo está en equilibrio generalmente con el  $\text{NO}_3^-$ , las concentraciones de ambos iones en distintos órganos del frutal (hojas y frutos) se hallan altamente correlacionadas. Cuando el nitrógeno es aplicado como nitrato, mediante aspersión foliar, se incrementa la acumulación de calcio en hojas viejas, mientras que si se aplica en forma amoniacal aumenta en las jóvenes (Vang-Petersen *et al.*, 1973).

### **Magnesio (Mg)**

Este elemento ocupa el centro de la molécula de clorofila (Taiz y Zeiger, 2006). En forma de ion es activador de enzimas que catalizan la respiración, es móvil y antagónico con el K, Na y Ca, (Valencia, 1999). Forma parte importante de la fotosíntesis y síntesis de ADN y ARN (Taiz y Zeiger, 2006).

### **Azufre (S)**

Es constituyente de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina por ende de las proteínas que los contienen, así como de la tiamina la biotina y la coenzima A. Si no hay azufre no se forman las proteínas (Bonilla, 2008).

## **3.9.2 Micronutrientes u oligoelementos**

Los elementos nutrientes llamados micronutrientes, oligoelementos, elementos traza o menores, son los requeridos en menor cantidad por las plantas, no por esto podemos pensar que son menos importantes que los de mayor demanda.

Azcón Bieto y Talón (2008) aseveran que los micronutrientes son elementos esenciales cuando se encuentran en cantidades mínimas en las plantas. Su presencia en los tejidos vegetales está siempre por debajo del 0.01% del peso seco. Se consideran micronutrientes el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el boro, y el níquel. Algunas funciones en la planta se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Funciones de oligoelementos en la planta.

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Algunas funciones en la planta</b>
<b>Hierro</b>	<b>Fe</b>	Transferencia y transporte de electrones en la fotosíntesis. Juega un papel vital en varios sistemas enzimáticos y su activación. Constituyente de los citocromos y de las proteínas no hemínicas (ferredoxina) involucradas en la fotosíntesis, fijación y asimilación de N <sub>2</sub> , y la respiración de las células vivas. No forma parte de la clorofila, pero es indispensable en su biosíntesis.
<b>Manganeso</b>	<b>Mn</b>	Activador enzimático. Requerido para la actividad de algunas deshidrogenasas, descarboxilazas, quinasas, oxidasas, peroxidasas. Involucrado con otros cationes en la activación de enzimas y la producción de O <sub>2</sub> en la fotosíntesis. Inductor de un ciclo de reacciones dentro de la planta. Participa en la descomposición (rompimiento) del agua en la fotosíntesis y transporte de electrones (reacción de Hill) o fotólisis del agua. Participa en el metabolismo del nitrógeno. Permanece en forma iónica.
<b>Zinc</b>	<b>Zn</b>	Actúa primordialmente como componente metálico (activador) en muchas enzimas entre ellas; Anhidrasa carbónica y algunas deshidrogenasas. Constituyente de la alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, etc. Su carencia restringe la síntesis de ácido ribonucléico, por ende la de proteínas, causa raquitismo, obstaculiza el crecimiento. Intervienen en la producción de auxina. Estabilizador de la clorofila.
<b>Cobre</b>	<b>Cu</b>	Involucrado en la transferencia de electrones entre el fotosistema I y II. Componente del ácido ascórbico oxidasa. Asociado a la metaloproteínas. Hasta un 70% se concentra en la clorofila. Su carencia produce envejecimiento prematuro de la clorofila y disminución de los rendimientos del cultivo y síntesis de lignina.

<b>Níquel</b>	<b>Ni</b>	Constituyente de la ureasa (hasta ahora, la única enzima de las plantas superiores que contiene Ni) y las hidrogenasas .En las bacterias de fijadoras de N <sub>2</sub> . Estimula la bomba de ATPasa de protones en el tonoplasto y es importante en la regulación del pH en el citoplasma y en la absorción de iones.
<b>Cloro</b>	<b>Cl</b>	Permanece en forma iónica. Requerido en las reacciones fotosintéticas involucradas en la producción, evolución de oxígeno y separación de las moléculas de agua en el fotosistema II de la fotosíntesis.
<b>Boro</b>	<b>B</b>	Constituyentes de la pared celular y su formación (yemas, flores y formación del tubo polínico).Almacenamiento de energía. Germinación del polen. Integridad estructural. Elongación celular y diferenciación de los tejidos. Participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos Formar complejos con manitol, mananos, ácidos polimanurónico y, otros. Esencial en la elongación de los tubos polínicos. Se involucra en el transporte de azúcares y producción de almidón. Interviene en la fase reproductiva. Su carencia produce esterilidad y deformación de los órganos reproductivos. Síntesis de ácidos nucleicos y respuestas hormonales
<b>Molibdeno</b>	<b>Mo</b>	Constituyente de la nitrogenasa ,nitrato-rreductasa y xantina deshidrogenasa por tanto es constituyente vital en la asimilación normal del nitrógeno. Contribuye en la disponibilidad fisiológica del Fe dentro de la planta. Contrarresta los excesos de Cu, B, Ni, Mn, Zn, Ca, en la planta.

(Mengel y Kirkby, 2000; Marschner, 2003; Taiz y Zeiger, 2006; Valencia, 1999; Salisbury, 1994; Critchley, 1985).

### 3.10 Criterio de reposición

Para hablar de reposición de nutrientes necesitamos primero tener muy claro dos conceptos, extracción y absorción de nutrientes, de acuerdo a Ciampitti y García (2007) la **Absorción** “es la cantidad total de nutrientes absorbido por el cultivo durante su ciclo de desarrollo“. Y la **Extracción** se entiende como “la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados: granos, flores, frutos, forrajes, etc.

La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo y que se encuentran presentes en

todos los tejidos y órganos, cosechables y no cosechables. No obstante la práctica más utilizada de fertilización, es a base del nivel de extracción de los cultivos, reponiendo los nutrientes que son absorbidos y depositados en los tejidos y órganos cosechables, sin tener en cuenta que en la mayoría de las prácticas agronómicas los residuos de cosecha no son incorporados al sistema suelo. (Ciampitti y García, 2007). Tanto la absorción como la extracción se expresan en  $\text{kg ha}^{-1}$ ,  $\text{kg t}^{-1}$  del elemento en cuestión y siempre en base seca.

El **concentración** de nutrimentos, en las plantas bien sea completa o por sus órganos es una medida muy importante y resulta básica, puesto que permite determinar las extracciones de nutrimentos, teniendo en cuenta la materia seca producida, bien sea discriminada por órganos o por la producción total. Para poder cuantificar los requerimientos nutricionales de una especie determinada son necesarios los estudios de: rendimiento del mismo, la producción de biomasa y el concentración de nutrimentos en cada órgano de la planta (Mejía de Tafur, 2010). Para cada cultivo, puesto que especies iguales en un mismo sistema edafológico pueden presentar necesidades nutricionales distintas, aún más cuando los suelos y condiciones climáticas son diferentes (Castro y Gómez, 2010).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Características del área de estudio

#### 4.1.1 Localización

La investigación se realizó en el corregimiento La Olga, municipio de Yumbo, departamento Valle del Cauca (Figura 3), esta ubicado a  $3^{\circ} 35' 0''$  N,  $76^{\circ} 28' 0''$  W, con una altitud entre 1650 y 2000 msnm, humedad relativa (HR) de 50% en época seca y 70% en época de lluvia.

**Figura 3.** Ubicación del corregimiento La Olga en el municipio de Yumbo, departamento Valle del Cauca, Colombia.



### **4.1.2 Suelo**

Se realizó muestreo de suelos para determinar sus características físico- químicas que nos permita conocer o entender sus posibles influencias en el agroecosistema. Las muestras se tomaron en dos profundidades de 0-10 y 10- 20 cm según la profundidad efectiva de desarrollo de raíces de la planta, provenientes del lote para ser analizadas en algunas propiedades físicas.

#### **Conducción del experimento.**

Las plantaciones se manejaron de acuerdo al sistema de producción por parte de los agricultores, este consiste en dos fertilizaciones: la primera es orgánica, a base de incorporar gallinaza aplicada al voleo, luego de cuatro días se voltea junto con el suelo durante su preparación para la siembra. La segunda con fertilizantes de síntesis, para lo cual se realizan aplicaciones de urea o triple quince, las cantidades varían según el productor, por lo general aplican (5-8 gr.planta) en disposición de media luna alrededor de la planta al mes de la siembra.

Acompañado a ello realizan labores de limpieza, picada y repicada del suelo, la solvencia financiera y vocación del agricultor son determinantes en el manejo que dan al cultivo.

### **4.2 Diseño experimental**

El ensayo se estableció en un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos (Tabla 3) y tres repeticiones, los cuales consistieron en la evaluación del concentración de nutrientes en cada órgano aéreo (hojas, tallo, flor y semilla) de la planta, en las diferentes etapas de desarrollo de la caléndula (dos, tres, cinco, seis y siete meses de edad después de siembra).

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos empleados en el ensayo.

ETAPAS DE DESARROLLO	ÓRGANO DE PLANTA	NUTRIENTES
2 MESES	Tallos, Hojas, Flores	N-P-K-Ca-Mg-S-Na-B-Fe-Mn-Zn
3 MESES	Tallos, Hojas, Flores	N-P-K-Ca-Mg-S-Na-B-Fe-Mn-Zn
5 MESES	Tallos, Hojas, Flores	N-P-K-Ca-Mg-S-Na-B-Fe-Mn-Zn
6 MESES	Tallos, Hojas, Flores, Semillas	N-P-K-Ca-Mg-S-Na-B-Fe-Mn-Zn
7 MESES	Tallos, Hojas; Flores; Semillas	N-P-K-Ca-Mg-S-Na-B-Fe-Mn-Zn

### 4.3 Descripción del experimento

#### 4.3.1 Unidades experimentales

Las unidades experimentales fueron parcelas en campo con dimensión de 1000 m<sup>2</sup> (50x20m), con un distanciamiento de 30x30cm entre planta y surco para una densidad de siembra de 111.000 plantas ha<sup>-1</sup>. La unidad de muestreo fueron 10 plantas al azar para su respectivo análisis durante cada uno de los cinco muestreos en el ciclo de cultivo.

#### 4.3.2 Toma y preparación de muestras

Las muestras de tallos, hojas, semillas y flores se lavaron con agua destilada y se secaron a 60°C hasta peso constante. Se molieron utilizando un molino de cuchillas de tusteno, IKA LABORTECHNIK M20, luego se tamizaron a 2 mm, se marcaron y empaclaron para llevar al laboratorio.

#### 4.3.3 Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron las concentraciones de macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg, S y, micronutrientes B, Fe, Mn, Cu, Zn y Na, en los órganos de la

planta (tallos, hojas, flores y semillas) en las diferentes etapas de desarrollo (mes dos, tres, cinco, seis y siete).

#### **4.3.4 Análisis estadístico de la información**

Los análisis se realizaron mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.13. Se hicieron análisis de varianza, ANAVA, prueba de comparación múltiple de promedios Duncan, correlaciones, regresiones y análisis de componentes principales (ACP) al siguiente grupo de variables: N en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, P en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, K en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, Ca en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, Mg en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, S en tallos, hojas, capítulos florales, semillas, Na en tallos, hojas, capítulos florales, semillas y, B en tallos, hojas, capítulos florales, semillas. Para decidir cuáles son las de mayor importancia y las que aportaron a la variabilidad de la dinámica nutricional estudiada.

#### **4.4 Pruebas de laboratorio**

##### **4.4.1 Caracterización física del suelo**

Se realizaron análisis en el laboratorio de física de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira que incluye textura del suelo, esta se determinó por el método de la Pipeta de Robinson's (SSEW, 1982). Densidad aparente por el método del cilindro biselado (Jaramillo, 2002). Densidad real se estimó mediante el método del picnómetro (Montenegro y Malagón, 1990).

#### 4.4.2 Caracterización química del suelo

Los análisis químicos del suelo, fase intercambiable (Tabla 4), fase soluble (Tabla 5) y de tejido (Tabla 6) se realizaron en el laboratorio de servicios analíticos del Centro Experimental de Agricultura Tropical (CIAT).

**Tabla 4.** Determinaciones, métodos y referencias utilizados en los análisis de las propiedades químicas intercambiables del suelo.

pH <sub>H2O</sub>	CO	P-Bray II	B	S	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Ca	Mg	Na	Al	CIC
	(g.kg <sup>-1</sup> )		(-----mg.kg <sup>-1</sup> -----)										(-----Cmol.kg <sup>-1</sup> -----)	
Potenciometría en agua 1:1	Walkle y Black Espectrometría	Espectrometría	En Agua Caliente (Espectrometría azometina)	Extractable (Fosfato Ca) Turbidimetría	Extractable ácido atómica	doble absorción atómica				Intercambiable absorción atómica			Cambiable (KCl 1M) Vol.	Amonio acetato volumetría

Fuente: CIAT, 2006.

**Tabla 5.** Determinaciones, métodos y referencia utilizados en los análisis de las propiedades químicas del suelo en la fase soluble.

Determinaciones	Métodos
CE (dS.m)	Conductividad Eléctrica (Pasta Sat.)
Ca-Soluble (mg.L)	Calcio Soluble (Pasta Sat.) Ab.At.
Mg-Soluble (mg.L)	Magnesio Soluble (Pasta Sat.) Ab.At.
K Soluble (mg.L)	Potasio Soluble (Pasta Sat.) Ab.At.
Na-Soluble (mg.L)	Sodio Soluble (Pasta Sat.) Em.At.
CO <sub>3</sub> (mg.L)	Carbonatos (Ext. Saturación volumetría)
HCO <sub>3</sub> (mg.L)	Bicarbonato (Ext. Saturación) volumetría
S-SO <sub>4</sub> (mg.L)	Sulfato Soluble (Pasta Sat.) Turbidimetría
N-NO <sub>3</sub> (mg.L)	Nitrato Soluble Espectrometría

**Tabla 6.** Determinaciones y métodos utilizados para obtener las concentraciones de nutrientes en los órganos evaluados.

<b>Determinaciones</b>	<b>Métodos</b>	<b>Referencia</b>
N (g.kg <sup>-1</sup> )	Nitrógeno Espectrometria	CIAT, 2006
P (g.kg <sup>-1</sup> )	Fosforo Espectrometria	CIAT, 2006
Ca (g.kg <sup>-1</sup> )	Calcio Total Ab.At.	CIAT, 2006
Mg (g.kg <sup>-1</sup> )	Magnesio (Ab.At.)	CIAT, 2006
K (g.kg <sup>-1</sup> )	Potasio	CIAT, 2006
Na (mg.kg <sup>-1</sup> )	Sodio (Em. Atómica)	CIAT, 2006
B-Total (mg.kg <sup>-1</sup> )	Boro Total Espectrometria Azometina	CIAT, 2006
S-Total (g.kg <sup>-1</sup> )	Azufre Total Turbidimetria	CIAT, 2006
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cobre (Ab.At.)	CIAT, 2006
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	Hierro (Ab.At.)	CIAT, 2006
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Manganeso (Ab.At.)	CIAT, 2006
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zinc (Ab. At.)	CIAT, 2006

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización del suelo

#### 5.1.1 Físicas

El suelo presenta una textura franco limoso, la cual permite una adecuada laborabilidad, siempre y cuando la humedad gravimétrica no supere de un 50% (Madero, 2011). La densidad aparente oscila entre 0.83 a 1.01 g.cm<sup>-3</sup>, aceptable para este tipo de suelo (condición limitante es un valor de 1.4 g.cm<sup>-3</sup>), esto permite un buen crecimiento de raíces, buen drenaje y aireación (Tabla 7) (Jaramillo, 2002; Amézquita y Londoño, 1997).

Posee alta porosidad (>50%), idónea para retener, transmitir agua y permitir el movimiento de aire. En general las condiciones físicas de este suelo son buenas y permite un desarrollo óptimo para el cultivo de caléndula.

**Tabla 7.** Caracterización física del suelo. Fuente: Laboratorio de física de suelos UNAL Palmira.

Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	Densidad aparente	Densidad real	Porosidad Total
cm	-----%-----				-----g.cm <sup>-3</sup> -----		%
0 -10	25.68	53.76	20.56	Franco limoso	0.83	2.54	67.32
10 - 20	21.68	55.76	22.56	Franco limoso	1.01	2.52	55.92

#### 5.1.2 Químicas

En la Tabla 8 se presentan los resultados químicos del suelo, estos se interpretaron con las escalas manejadas por el (IGAC, 2006) y (Castro, 2004).

Como se observa el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm presentó un pH neutro (6,92), alta concentración de carbono orgánico ( $58,24 \text{ g kg}^{-1}$ ) y, con bajos niveles de hierro y cobre, altas concentraciones de los demás nutrientes entre ellos las bases y CIC. Predominando la saturación por calcio y potasio en esta profundidad.

Se encontraron altos valores en las relaciones entre de nutrientes, especialmente en  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ , estos resultados denotan a un suelo con la capacidad de brindar nutrientes suficientes durante diferentes etapas de desarrollo de la caléndula, lo cual se apreció visualmente en el cultivo visitado.

Con el incremento del pH en suelos neutros, ocurre la disociación del fósforo de algunos compuestos (Menjivar, 2012), aumentando su disponibilidad en el suelo, mas en pH muy alcalino reacciona con el calcio y baja su disponibilidad, proceso similar ocurre con micronutrientes. Por otro lado, las relaciones de  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$  en el suelo son ideales y, los niveles de hierro y cobre son deficitarios, resultados similares fueron reportado por (Piraneque, 2008).

En la profundidad de 10-20 cm presentó un pH moderadamente ácido (6,55), cuyo comportamiento con respecto a las cantidades de nutrientes, CIC, CO y saturación de bases fue similar a la profundidad de 0-10 cm; sin embargo, las relaciones de nutrientes expresan una deficiencia de potasio, salvo la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  la cual es optima.

La asimilación del fósforo puede disminuir por la formación de compuestos insolubles con el hierro (Tisdale *et al.*, 2005; Marschner, 2003). Como se observa en el anexo C, la fracción soluble del suelo presenta niveles bajos de calcio, magnesio, potasio, sodio, ácido carbónico, nitrato y conductividad eléctrica (CE), sin presencia de carbonatos, pero un nivel óptimo de sulfatos.

**Tabla 8.** Características químicas del suelo en las dos profundidades analizadas.

Propiedad	Unidad	Profundidades			
		0-10 cm		10-20 cm	
		Valor	Nivel	Valor	Nivel
pH H <sub>2</sub> O		6,92	Neutro	6,55	Mod. Ácido
C.O		58,24	Alto	50,12	Alto
P (Bray II)		275,4	Alto	91,6	Alto
S		60,03	Alto	66,65	Alto
B		1,37	Alto	0,7	Alto
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	1,21	Bajo	2,41	Bajo
Mn <sup>++</sup>		78,34	Alto	74,14	Alto
Cu <sup>++</sup>		0,35	Bajo	0,67	Bajo
Zn <sup>++</sup>		17,36	Alto	12,62	Alto
K <sup>+</sup>		7,9	Alto	4,5	Alto
Ca <sup>2+</sup>		201,7	Alto	208,5	Alto
Mg <sup>2+</sup>	mmolc kg <sup>-1</sup>	33,5	Alto	59,5	Alto
Na <sup>+</sup>		2,2	Alto	1,8	Alto
CIC		298	Alto	270	Alto
K <sup>+</sup>		26,5	Alto	16,6	Alto
Ca <sup>2+</sup>	% Sat	67,78	Alto	77,4	Alto
Mg <sup>2+</sup>		11,24	Medio	22,03	Medio
Na <sup>+</sup>		7,38	Medio	6,66	Medio
Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>		6,03	Ideal	3,5	Ideal
Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup>		4,24	Deficiente Mg	13,22	Deficiente K
Ca <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup>	Apreciación	25,53	-----	46,33	Deficiente K
K <sup>+</sup> /Mg <sup>2+</sup>		0,24	Ideal	0,08	Deficiente K
((Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> )/K <sup>+</sup> )		29,77	-----	59,56	Deficiente K

## 5.2 Dinámica de macronutrientes en diferentes etapas de desarrollo y ciclo total de la caléndula.

La absorción y extracción de nutrientes de un cultivo permite conocer la cantidad que es requerida para producir un rendimiento dado en un periodo de tiempo definido (Bertsch, 2003). Los resultados de esta investigación permiten elaborar posteriormente curvas de extracción y absorción sobre las necesidades nutritivas que la caléndula afronta desde la siembra hasta la cosecha.

**Nitrógeno.** Considerado después del agua, el nutriente más importante en el desarrollo de las plantas, junto al fósforo y potasio, es el elemento clave en la nutrición mineral (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Para las distintas etapas evaluadas la dinámica de este nutrimento fue disímil, presentando diferencias altamente significativas ( $Pr>F=0,0069$ ) Anexo A. En la Figura 4 se muestran las concentraciones del nutriente en el mes tres y siete, se observa que fueron similares, al igual que entre el mes dos y cinco, sin embargo, en estos meses su absorción fue menor.

Las mayores concentraciones se reportan en el séptimo mes ( $31.10 \text{ g.kg}^{-1}$ ), seguido del tercer ( $28.82 \text{ g kg}^{-1}$ ), sexto ( $26.68 \text{ g kg}^{-1}$ ), quinto ( $23.89 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y por último el segundo mes ( $23.55 \text{ g kg}^{-1}$ ). Se puede apreciar una demanda del nutrimento en todas las etapas del cultivo, siendo necesaria su disponibilidad en todo el ciclo. Salisbury *et al.* (1994) comentan que las plantas lo requiere en grandes cantidades, especialmente en fases de crecimientos y productivas, lo cual coincide con lo encontrado puesto que al tercer mes la planta se encuentra en su mayor producción de capítulos florales y a partir de ahí en las fases de reproducción.

**Fósforo.** El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $Pr>F=0,0004$ ) entre tratamientos (Anexo A). No se muestran diferencias

significativas entre la segunda y la tercera etapa, pero estas sí difieren con el resto de las mismas, cuyo comportamiento fue igual estadísticamente (Figura 4).

En las primeras etapas de desarrollo es importante su disponibilidad, las mayores concentraciones se registran en el segundo y tercer mes (5,37 y 4,87 g kg<sup>-1</sup>) respectivamente, disminuye con la evolución del cultivo, valores similares se presentan en la quinta (3,51 g.kg<sup>-1</sup>), sexta (3,55 g.kg<sup>-1</sup>) y séptima etapa (3,51 g.kg<sup>-1</sup>), su concentración disminuye y se estabiliza con el tiempo. Salisbury *et al.* (1994) expresan que el P se requiere en las primeras etapas de crecimiento de la planta, ya que participa en procesos energéticos para la formación de ATP y ADP desarrollo radicular, entre otros.

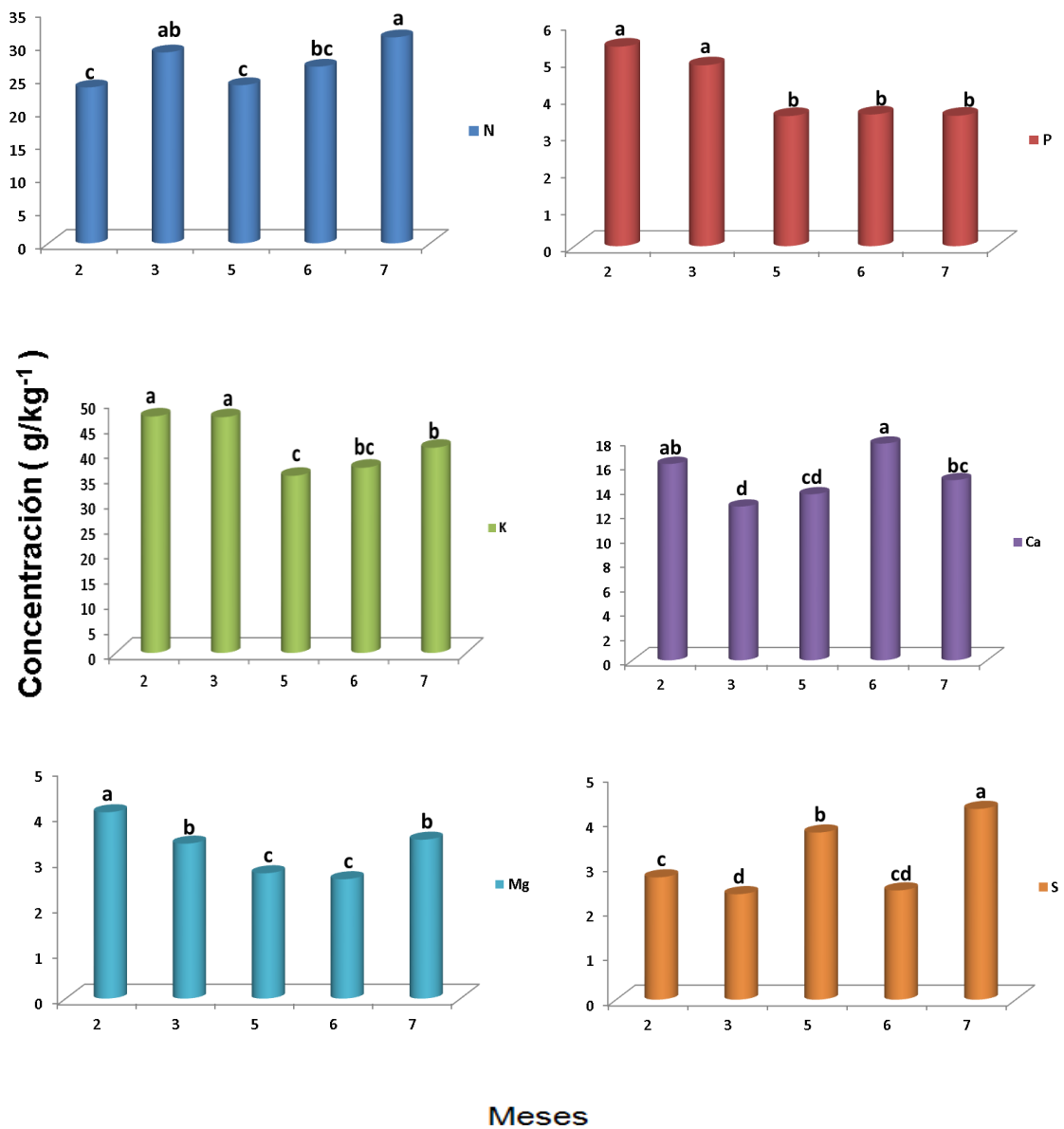
**Potasio.** Los valores de potasio muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $Pr > F = 0.0002$ ) Anexo A; siendo los primeros dos meses similares estadísticamente, y diferentes con el resto (Figura 4).

Este nutrimento presenta sus mayores concentraciones en los meses dos (47,07 g kg<sup>-1</sup>) y tres (46,93 g kg<sup>-1</sup>), disminuye; y aumenta nuevamente su concentración en los meses quinto, sexto y séptimo con 35,26 g kg<sup>-1</sup>, 36,88 g kg<sup>-1</sup> y 40,86 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Los resultados muestran una dinámica ascendente y de alta demanda ya que este nutrimento es el más abundante de la vacuola y el citoplasma, requerido en grandes cantidades (Azcón Bieto y Talón, 2008).

Marschner (2003) expresa la importancia de nutriente en la osmoregulación, el cual es un mecanismo de adaptación a condiciones de estrés hídrico en la planta; Además participa en la síntesis y transporte de fotosintatos a los órganos de reserva como la semilla y la subsecuente transformación en carbohidratos, proteínas, aceites, etc. (Tisdale *et al.*, 2005). Su importancia también radica en que es el catión maestro de la planta pues activa más de 60 reacciones enzimáticas, por lo cual es requerido y de vital importancia en toda la vida de la

planta, puesto que además participa en casi todos los procesos fisiológicos de la misma, constituye del 0.2 al 1.0% de la materia seca (Valencia, 1999).

**Figura 4.** Concentración de macronutrientes en la planta (tallos + hojas + flores) en cada etapa de desarrollo (tratamiento = mes). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.



**Calcio.** Este elemento es absorbido como  $\text{Ca}^{2+}$  desde la solución del suelo hacia las raíces a través de flujo de masas (Tisdale *et al.*, 2005). El análisis estadístico (Anexo A) mostró diferencias altamente significativas del nutriente en las etapas evaluadas ( $\text{Pr}>\text{F}=0,0013$ ). Los niveles más altos del calcio se encontraron en el segundo y sexto mes, siendo iguales estadísticamente y, los valores más bajos e indiferentes entre sí en el tercer y quinto mes.

Las concentraciones de calcio son bastante dinámicas, mostrando un requerimiento elevado en el segundo y sexto mes ( $16,06 \text{ g kg}^{-1}$ ) y ( $17,72 \text{ g kg}^{-1}$ ) respectivamente; decae el tercer mes ( $12,57 \text{ g kg}^{-1}$ ), el quinto ( $13,58 \text{ g kg}^{-1}$ ) y al final del ciclo que corresponde al séptimo mes ( $14,73 \text{ g kg}^{-1}$ ).

**Magnesio.** El análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $\text{Pr}>\text{F}=0,0005$ ). La prueba de comparación de medias muestra que el primer mes fue muy diferente a los demás, el segundo y séptimo presentaron comportamientos similares, al igual que el quinto con el sexto mes (Figura 4).

Para el Mg la dinámica en todo el ciclo fue particular, notándose una marcada reducción en la mitad de este, y presentando las mayores concentraciones al inicio y final de las etapas evaluadas. El mayor valor se presentó en el segundo mes ( $4,07 \text{ g kg}^{-1}$ ), seguido del tercero ( $3,39 \text{ g kg}^{-1}$ ) y el séptimo ( $3,47 \text{ g.kg}^{-1}$ ), y los menores fueron para los meses intermedios quinto ( $2,74 \text{ g kg}^{-1}$ ) y sexto ( $2,61 \text{ g kg}^{-1}$ ) respectivamente.

**Azufre.** El ANAVA (Anexo A) muestra que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $\text{Pr}>\text{F}=0,0001$ ). El segundo, quinto y séptimo mes fueron diferentes estadísticamente entre sí, sin embargo, el tercero y sexto mes fueron iguales estadísticamente. (Figura 4).

La concentración de azufre es el único con una dinámica atípica en cuanto a sus valores al inicio del ciclo, puesto que no inicia con altas concentraciones,

presentando en el segundo (2,74 g.kg<sup>-1</sup>) y tercer mes (2,36 g.kg<sup>-1</sup>), y aumentando en el quinto (3,74 g.kg<sup>-1</sup>) para volver a decaer en el sexto (2,45 g.kg<sup>-1</sup>), el mayor concentración se presentó al final del ciclo (séptimo mes 4,27 g.kg<sup>-1</sup>).

Este nutrimento es requerido en la síntesis de aminoácidos las cuales contienen S (cysteina, cystina y methionina), componentes esenciales de proteínas que contienen cerca del 90% del S en las plantas (Tisdale *et al.*, 2005).

### **Concentración de macronutrientes en planta completa en todas las etapas de desarrollo**

Los análisis en tejido vegetal, muestran que las cantidades de macronutrientes varían en las plantas, su concentración se encuentran en proporción >0.1% (Azcón Bieto y Talón, 2008). El ANAVA (Anexo A) y la Figura 5, muestran diferencias significativas para todos los macronutrientes a excepción del manganeso y el azufre que no difieren estadísticamente.

Además, como se observa en la Figura 5 el concentración de nutrientes expresados en porcentaje relativo, el potasio represento en la planta el 44 % de nutrimento almacenado, seguido del nitrógeno y calcio con 29% y 15 % respectivamente, los menores valores los presentaron el fósforo (5%), manganeso (4%) y azufre (3%).

El potasio es el nutrimento de mayor demanda (197,40 g kg<sup>-1</sup>), seguido de nitrógeno (130,53 g kg<sup>-1</sup>), calcio (69,64 g kg<sup>-1</sup>), fósforo (21,19 g kg<sup>-1</sup>), magnesio y el azufre (16,13 y 14,96 g kg<sup>-1</sup>) respectivamente. Resultados similares fueron encontrados por Teixeira *et al.*, (2000), expresando que los macronutrientes nitrógeno, potasio y calcio fueron los más exigidos por la caléndula bajo condiciones controladas.

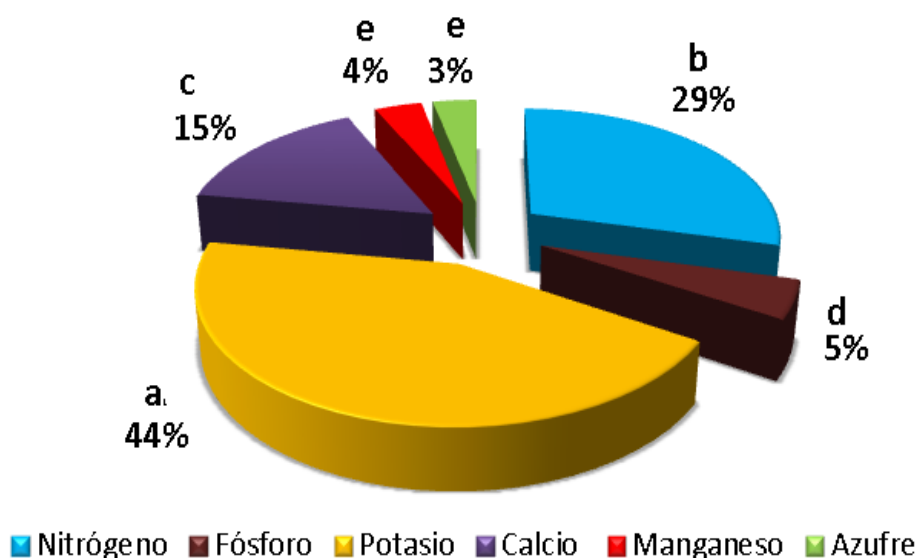
El N fue el segundo macronutriente más acumulado, coincidiendo con Filgueira (2003) quien afirma que éste es normalmente el segundo nutriente después del K más requerido por plantaciones olerícolas.

La absorción del fósforo es restringida por factores como pH, MO, presencia de óxidos e hidróxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  y de elevadas concentraciones de calcio en el suelo (Menjivar, 2012). A su vez, Stewxart y Lovett-Doust (2003) bajo cultivos hidropónicos concluyeron que este cultivo demanda pocas cantidades de fósforo respecto al nitrógeno y al potasio, ya que esta especie se puede desarrollar en condiciones xerofíticas donde el agua y nutrientes se aportan de forma intermitente.

Por otro lado, en experimentos realizados por Król (2011), demuestra que la caléndula exige cantidades considerables de nitrógeno, sin embargo, a partir de  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  no se observa mayor productividad.

La caléndula al igual que la cebolla es una planta exigente en azufre, afecta el sabor y el aroma del producto debido posiblemente a su participación como constituyente de los aminoácidos azufrados, los cuales son precursores de compuestos volátiles responsables por el aroma y pungencia característicos (Malavolta *et al.*, 1997). La caléndula no está catalogada como una planta aromática, pero si posee un aroma característico de la especie catalogada como desagradable para las personas que la describen. En el Anexo C se observan las correlaciones de estos elementos por etapa de desarrollo en la planta completa de caléndula.

**Figura 5.** Concentración de macronutrientes en la planta completa (tallos + hojas + flores + semillas) en toda la etapa de desarrollo (mes 2 + 3 + 5 + 6 + 7). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.



### 5.3 Dinámica de macronutrientes en órganos de caléndula a través de diferentes etapas de desarrollo

**Nitrógeno.** El Análisis de varianza muestra existen diferencias altamente significativas ( $Pr > F = 0,0012$ ) entre los órganos evaluados (Anexo A). La Figura 6 muestra el comportamiento del N en cada órgano durante las diferentes etapas de desarrollo. Existen dos grupos diferentes estadísticamente al compararse entre ellos e, iguales entre sí, formados por capítulos florales - hojas y, tallos - semillas.

Las mayores concentraciones se localizaron en los capítulos florales ( $32,33 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y hojas ( $29,0 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y, los más bajos en los tallos ( $19,09 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y las semillas ( $21,87 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Durante las etapas de desarrollo se aprecia un comportamiento fluctuante en flores y tallos, mientras que en las hojas tiende a elevar su

concentración con el transcurso del tiempo. A diferencia de las semillas en las cuales decrece el concentración.

Lemaire y Gastal (1997) trabajando en cereales, indican el desarrollar nueva área foliar en la planta implica invertir una mayor proporción de las ganancias netas de carbono en tejidos estructurales y poder el área foliar en posición adecuada para interceptar más luz. Como elemento móvil dentro de la planta que es el N, debe absorberse en grandes cantidades para la formación de compuestos orgánicos en tejidos aéreos constituidos por aminoácidos, proteínas, amidas, etc. (Mengel y Kirkby, 2000).

**Fósforo.** El fósforo fue el nutrimento requerido en mayores cantidades al inicio del ciclo del cultivo, cuyas funciones energéticas son necesarias en muchos procesos fisiológicos y metabólicos, participando entre otros en la formación de raíces. Con el transcurrir del tiempo su demanda disminuye, localizándose principalmente en flores y semillas (Salisbury y Ross, 1994) órganos responsables de la supervivencia de la planta.

El Análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas ( $Pr > F = 0.0232$ ) entre los órganos (Anexo A). Como se observa en la Figura 6, los capítulos florales y semillas no difieren estadísticamente entre sí, al igual que los tallos en comparación a las hojas.

La mayor concentración de P fue en capítulos florales ( $5,52 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y semillas ( $4,27 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Moreira *et al.*, (2005) reporta altas concentraciones de fósforo en los capítulos florales, coincidiendo con los resultados obtenidos en este estudio. La menor concentración se presentó en tallos ( $3,39 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y hojas ( $3,58 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Resultados similares se encontraron para el concentración de P en el ciclo completo del cultivo de girasol (también es una especie compuesta), reportando valores críticos de 0.2 % ( $2,0 \text{ g.kg}^{-1}$ ), los rangos adecuados se encuentran entre 2.5 y  $5.6 \text{ g.kg}^{-1}$  (Díaz-Zorita, 2012).

En la caléndula (Tabla 10) se encontraron concentraciones de fósforo en rangos de 2 a 6 g.kg<sup>-1</sup> estando los mayores valores en general en las primeras etapas del cultivo en el segundo y tercer mes después de la siembra. Posiblemente estas concentraciones tengan mucha relación con el fenómeno de dilución que se presenta de los nutrientes cuando la planta adquiere mucha más biomasa en el proceso normal de crecimiento, ya que las concentraciones en los meses próximos a la senescencia de la planta son menores (Malavolta *et al.*, 1989)

**Potasio.** El ANAVA (Anexo A) mostró diferencias altamente significativas entre los órganos ( $Pr>F=0.0003$ ). Como se observa en la Figura 6, el tallo difiere estadísticamente de los demás, siendo las hojas y capítulos florales iguales entre sí. En los tallos es donde el potasio (53,82 g.kg<sup>-1</sup>) se localizo en su mayoría, continua en las hojas (36,52 g.kg<sup>-1</sup>), capítulos florales (33,90 g.kg<sup>-1</sup>) y las semillas (19,66 g.kg<sup>-1</sup>).

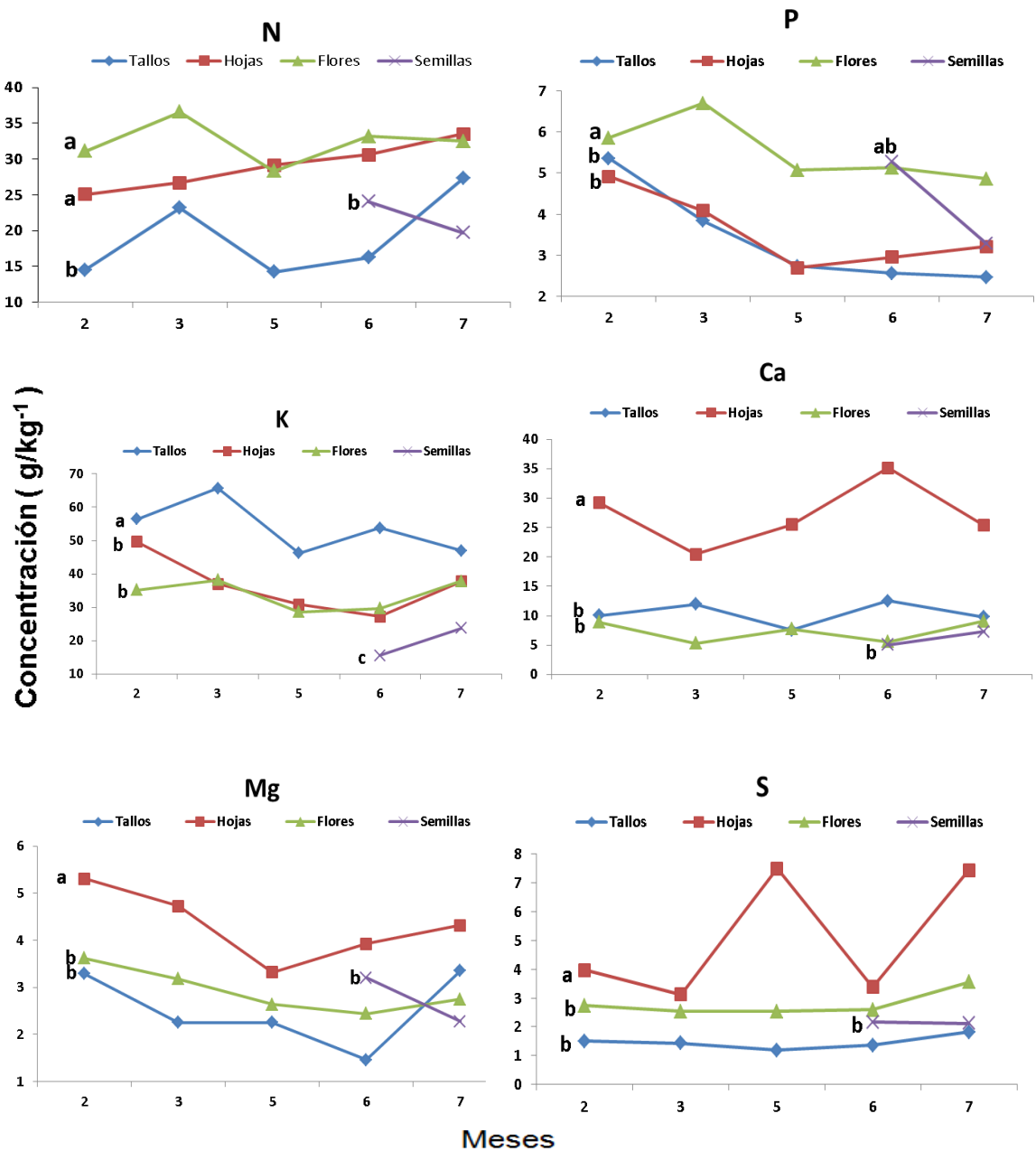
El K fue el elemento con mayor concentración en todo el ciclo, su importancia radica en ser cofactor de más de 40 enzimas y establecimiento de la turgencia celular (Mengel y Kirkby, 2000). Su movilidad en el suelo es por medio de difusión (70-80%) (Jungk, 1996). Siendo el tallo su corredor preferido en maíz y otros cereales, ya que en su ausencia la planta se cae con facilidad y predispone al ataque de plagas en las raíces (Salisbury y Ross, 1994).

**Calcio.** El ANAVA muestra que existen diferencias altamente significativas ( $Pr>F=<.0001$ ) entre los órganos evaluados (Anexo A). Durante las diferentes etapas de desarrollo el Ca se concentro mayormente en las hojas, siendo estadísticamente diferente en los demás órganos.

En esta investigación los valores de este nutrimento se mantuvieron alrededor de 0,5 a 3,5% (Tabla 10). La caléndula demanda en medianas cantidades el Ca, su concentración en las plantas en general varía entre el 0,1 a 5 % de su peso seco,

dependiendo de la especie, órgano y condiciones de crecimiento (Monge *et al.*, 1994).

**Figura 6.** Concentración de macronutrientes en órganos (tallos, hojas, flores y semillas) de la planta de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.



Los tallos ( $10,38 \text{ g.kg}^{-1}$ ), capítulos florales ( $7,32 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y las semillas ( $6,17 \text{ g.kg}^{-1}$ ) fueron los órganos que menor concentración de Ca presento. Según Link (1974) citado por Monge *et al.* (1994) menciona que una de las causas de la escasa concentración de este elemento en el fruto en relación al resto de órganos parece ser la alta tasa de transpiración, cuando la transpiración aumenta se presentan pérdidas de este nutriente, ya que existe una alta competencia entre los frutos y los brotes en crecimiento (meristemas apicales y nuevas hojas).

Por lo tanto, las hojas ( $27,10 \text{ g.kg}^{-1}$ ) fue el órgano que mayor concentración presento en todas las etapas evaluadas. Valencia (1999) y Bonilla (2008) coinciden en que la mayor acumulación del Ca ocurre en este órgano; posiblemente por que se mueve principalmente con el flujo de la transpiración y, las hojas es el órgano que participa más activamente en este proceso. Marschner (2003) expresa que al aumentar la concentración externa de este elemento se pueden observar incrementos en el concentración de este elemento en hojas, este incremento posiblemente es bajo en otros órganos ya que el suministro del calcio vía floema es de baja movilidad.

**Magnesio** El Análisis de varianza (Anexo A) mostró diferencias altamente significativas entre órganos ( $Pr > F = < 0.0073$ ). Como se observa en la Figura 6 generada a partir de la prueba de comparación de medias de Duncan, las hojas difieren estadísticamente con respecto a los tallos, capítulos florales y semillas.

Al igual que el Ca, este nutrimento presenta sus mayores concentraciones en las hojas ( $4,30 \text{ g.kg}^{-1}$ ), cuyo concentración disminuyo de la segunda hasta la quinta etapa evaluada y, aumentando a partir de aquí hasta el séptimo mes. Los capítulos florales ( $2,92 \text{ g.kg}^{-1}$ ), semillas ( $2,74 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y tallos ( $2,56 \text{ g.kg}^{-1}$ ) exhiben los menores valores. Su mayor concentración en las hojas se debe por ser constituyente de la molécula de clorofila, factor crucial en la fotosíntesis (Mengel y Kirkby, 2000).

La concentración de Mg osciló entre 0,15 a 0,53% en los tejidos, datos similares fueron encontrados por (Teixeira *et al.*, 2000) acumulando 5,64 mg.kg<sup>-1</sup> en la parte aérea de la caléndula.

**Azufre.** El ANAVA mostró diferencias altamente significativas ( $Pr>F=<.0.0035$ ) entre órganos (Anexo A). Exhibe la misma dinámica en los órganos que el Ca y Mg, distinguiéndose estadísticamente las hojas del resto de órganos.

El azufre es requerido en la síntesis de aminoácidos (cisteína, cistina y metionina), componentes esenciales de proteínas que contienen cerca del 90% del S en las plantas (Tisdale *et al.*, 2005). El mayor concentración se localizó en las hojas (5,08 g.kg<sup>-1</sup>), su particular comportamiento se baso en picos intermitentes, muy diferenciado de la curva de las concentraciones similares a lo largo del ciclo para los órganos restantes, cuyas concentraciones en orden descendente ocurrió en los capítulos florales (2,79 g.kg<sup>-1</sup>), semillas (2,15 g.kg<sup>-1</sup>) y tallos (1,46 g.kg<sup>-1</sup>).

En forma de resumen se presenta en la Tabla 9 las concentraciones de macronutrientes en los diferentes órganos de la planta de caléndula a través de sus etapas de desarrollo.

**Tabla 9.** Concentración de macronutrientes (%) en órganos de la planta de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo.

<b>Órgano</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>2 meses después de la siembra</b>						
Tallos	1,45	0,54	5,64	1,01	0,33	0,15
Hojas	2,51	0,49	4,97	2,92	0,53	0,40
Flores	3,11	0,59	3,52	0,89	0,36	0,27
<b>3 meses después de la siembra</b>						
Tallos	2,32	0,38	6,56	1,20	0,23	0,14
Hojas	2,67	0,41	3,71	2,04	0,47	0,31
Flores	3,66	0,67	3,82	0,53	0,32	0,25
<b>5 meses después de la siembra</b>						
Tallos	1,42	0,27	4,63	0,75	0,23	0,12
Hojas	2,91	0,27	3,09	2,55	0,33	0,75
Flores	2,83	0,51	2,87	0,77	0,26	0,25
<b>6 meses después de la siembra</b>						
Tallos	1,62	0,26	5,38	1,25	0,15	0,14
Hojas	3,06	0,30	2,72	3,51	0,39	0,34
Flores	3,32	0,51	2,97	0,55	0,24	0,26
Semillas	2,40	0,53	1,56	0,51	0,32	0,22
<b>7 meses después de la siembra</b>						
Tallos	2,73	0,25	4,70	0,98	0,34	0,18
Hojas	3,35	0,32	3,77	2,53	0,43	0,74
Flores	3,25	0,49	3,78	0,91	0,27	0,36
Semillas	1,97	0,33	2,37	0,73	0,23	0,21
<b>Ciclo total</b>						
	13,05	2,12	19,74	6,96	1,61	1,50

#### 5.4 Dinámica de micronutrientes en diferentes etapas de desarrollo y ciclo total de la caléndula

Los micronutrientes son requeridos en menores cantidades por las plantas, en ocasiones es difícil determinar su esenciabilidad. Este grupo de los microelementos esenciales está conformado por  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu$  ( $Cu^+$  o  $Cu^{2+}$ ),  $B$  ( $HBO_3^{2-}$  y  $H_2BO_3$ ),  $Mo$  ( $MoO_4$ ),  $Ni$  y  $Cl^-$ ; otros elementos como el silicio ( $Si$ ) y el  $Na^+$  son considerados como benéficos para algunas especies vegetales (Mejía de Tafur, 2010).

**Sodio.** El ANAVA (Anexo B) mostró diferencias altamente significativas ( $Pr > F = < .0001$ ) para el concentración de  $Na$  en las distintas etapas evaluadas. La concentración de  $Na$  en el segundo, quinto y sexto mes son diferentes estadísticamente, los meses tres y siete no difieren entre sí (Figura 7).

El sodio es un elemento beneficioso y no esencial para todas las plantas (Bonilla, 2008; Mejía de Tafur, 2010). Sin embargo, existen pruebas de su esenciabilidad como microelemento en algunas plantas  $C_4$  y CAM, pero no es esencial para las plantas  $C_3$ . Las concentraciones de este nutrimento fueron lo más altos, dándole relevancia en esta investigación por la poca información generada.

Se encontró que su mayor concentración fue al sexto mes ( $11007,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), seguido por el segundo ( $8951,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), quinto ( $6119,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ), séptimo ( $3110,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y tercer mes ( $2947,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El efecto benéfico del  $Na^+$  sobre el crecimiento vegetal es evidente en suelos con bajas concentraciones de  $K^+$  (Tisdale *et al.*, 2005; Navarro y Navarro, 2003; Salisbury y Ross, 2000).

**Boro.** Las especies monoméricas del ácido bórico  $B(OH)_3$  y  $B(OH)_4^-$  se presentan en la solución del suelo a  $pH < 7$  a concentraciones  $< 25 \text{ mM}$ , su absorción

depende del pH y la concentración externa y, su distribución en las plantas es gobernada por la transpiración (Marschner, 2003).

El ANAVA (Anexo B) mostró diferencias altamente significativas ( $Pr > F = < .0001$ ) para el concentración de B en las distintas etapas de desarrollo. Como se observa en la Figura 7, que el concentración de B en el segundo, quinto y séptimo mes son diferentes estadísticamente y, que en los meses tres y sexto no difieren entre sí.

En orden descendente, fue en el quinto mes ( $77,31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) donde la concentración de B fue mayor, seguidos del séptimo ( $58,25 \text{ mg kg}^{-1}$ ), sexto ( $52,64 \text{ mg kg}^{-1}$ ), tercero ( $53,17 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y segundo mes ( $41,15 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El B entra a la planta en forma de  $\text{HBO}_3^{2-}$  y  $\text{H}_2\text{BO}_4^-$ , su acción se localiza en meristemos apicales, es importante en la síntesis de las estructuras de protección que son ricas en lignina como la celulosa y demás polisacáridos que constituyen la pared celular, ya que participa en el metabolismo de fenoles y producción de polifenoles que producen lignina (Bonilla *et al.*, 1994). Además es muy importante en la circulación de azúcares, ya que en cantidades adecuadas, en la planta se forma complejos boro-hidratos de carbono que favorecen a la movilidad del azúcar (Navarro y Navarro, 2003).

**Cobre.** El Análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $Pr > F = < .0001$ ) para el concentración de Cu en las distintas etapas de desarrollo. Como se observa en la Figura 7, la concentración de Cu en el tercer mes difiere estadísticamente de los demás, al observar los meses dos-siete y cinco-seis no se encontró diferencia significativa.

El  $\text{Cu}^{2+}$  es absorbido por las plantas en bajas cantidades en suelos aireados y en forma de  $\text{Cu}^+$  en suelos inundados o mal aireados. La forma divalente forma quelatos fácilmente con varios componentes de la solución del suelo (Mejía de Tafur, 2010). Su concentración oscila entre 2 a  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  en peso seco, dependiendo no sólo de las características del suelo: composición, concentración

de caliza, pH, etc., sino también en la planta: grado de madurez, parte considerada, etc. (Navarro y Navarro, 2003; Brady y Weil, 1999).

La concentración de cobre se concentró en el tercer mes (26,67 mg kg<sup>-1</sup>), luego su nivel bajo pero estable en los demás meses, observado en el segundo (14,16 mg kg<sup>-1</sup>), séptimo (13,16 mg kg<sup>-1</sup>), quinto (12,19 mg kg<sup>-1</sup>) y sexto mes (11,43 mg kg<sup>-1</sup>).

**Hierro.** El hierro es absorbido por las plantas en las formas Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>. El ANAVA (Anexo B) mostró diferencias significativas ( $Pr>F=<.0460$ ) para el concentración de Fe en las distintas etapas de desarrollo. Como se observa en la Figura 7, el concentración de Fe en el quinto y séptimo mes no difieren estadísticamente y, el a excepción del quinto mes, todos son iguales estadísticamente.

El rango de suficiencia en tejidos varía entre 50 y 250 mg kg<sup>-1</sup> (Tisdale *et al.*, 2005). Este rango fue superado ampliamente en el presente estudio, lo que indica que la caléndula es gran extractora de Fe.

Entre tanto, el mayor del concentración de Fe fue en el quinto mes (1891,5 mg kg<sup>-1</sup>), seguido del séptimo (1021,4 mg kg<sup>-1</sup>), sexto (563,0 mg kg<sup>-1</sup>), segundo (294,0 mg kg<sup>-1</sup>) y tercero (253,0 mg kg<sup>-1</sup>). Mejía de Tafur (2010) expresa que la principal función del Fe es la activación de enzimas, actúa como grupo prostético. Además, interviene en las reacciones fundamentales de oxido-reducción en hemoproteínas y proteínas no-hémicas con enlace Fe-S como ferredoxina y enzimas reductasa, nitrogenasa y sulfato reductasa.

**Manganeso.** El ANAVA (Anexo B) mostró diferencias altamente significativas ( $Pr>F=<.0001$ ) para el concentración de Mn en las distintas etapas evaluadas. El concentración de Mn en el tercero, quinto y sexto mes son diferentes estadísticamente; los meses dos y siete no difieren entre sí (Figura 7).

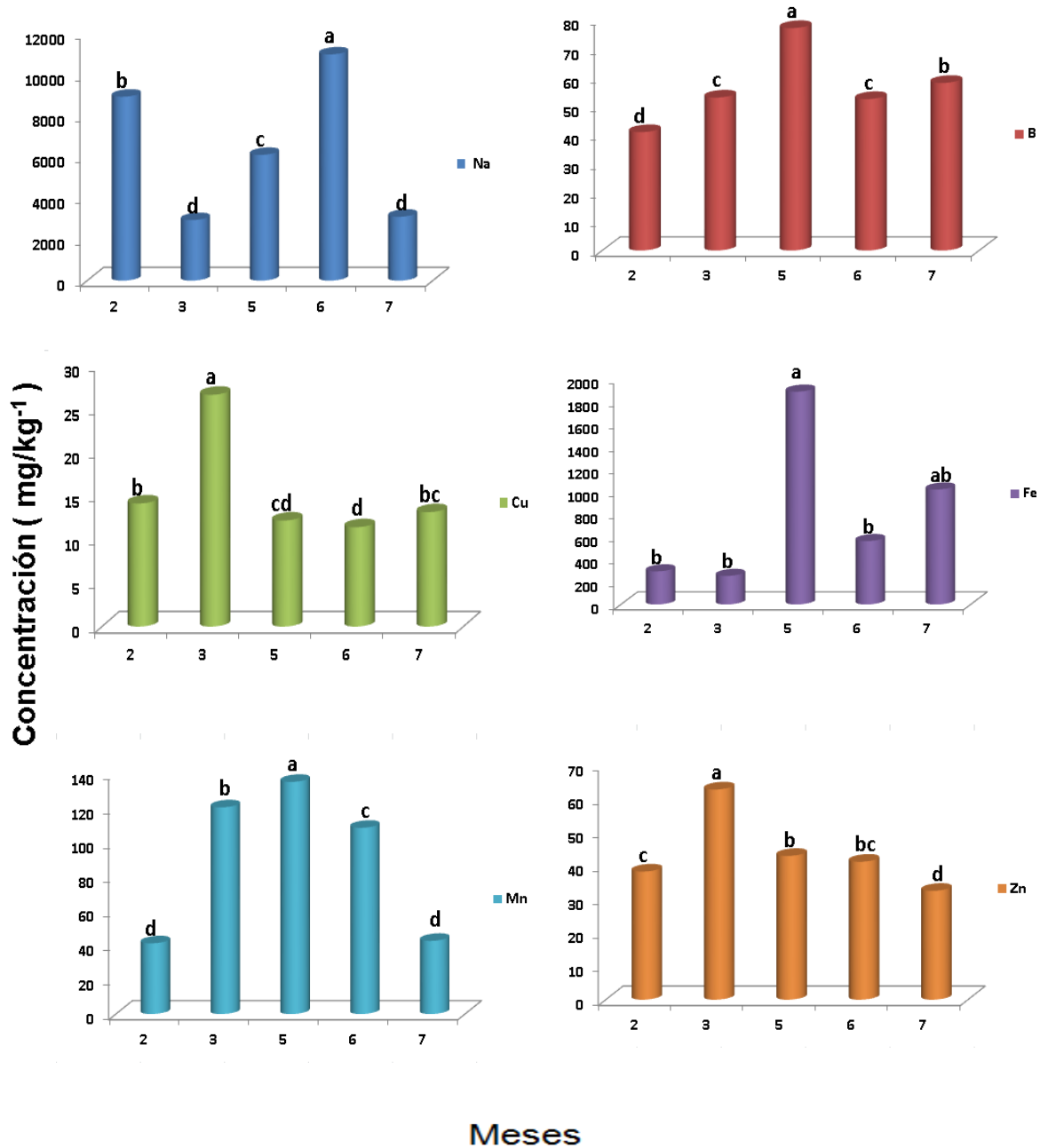
El manganeso es absorbido como  $Mn^{+2}$  y en complejos de bajo peso molecular. La concentración de este elemento en los tejidos vegetales varía entre 20 y 500 ppm, presentándose deficiencias cuando su concentración baja de 20 ppm.

El comportamiento de manganeso fue similar en el intermedio de las etapas productivas, resaltando el quinto mes ( $135,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) entre el tercer ( $121,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y sexto ( $109,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), mientras que su concentración fue menor al inicio de la etapa productiva con ( $41,41 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) en el segundo mes y, al final con ( $42,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) al séptimo mes.

**Zinc.** El Análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas ( $Pr>F=<.0001$ ) anexo B para el concentración de Zn en las distintas etapas evaluadas. El concentración de Zn en el tercer y séptimo mes difieren estadísticamente con los demás, además, en el sexto mes no se encontró diferencias significativas con respecto al segundo y quinto mes (Figura 7).

La concentración de zinc se diferenció por su mayor concentración en el tercer mes ( $62,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), luego su concentración disminuyo en las otras etapas, cuyos valores son para el quinto ( $43,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), sexto ( $41,26 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), segundo ( $38,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y séptimo mes ( $32,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). La planta lo toma como catión divalente ( $Zn^{2+}$ ), la disponibilidad es mayor cuando el pH es bajo. Al igual que el Mn y el Mg, el Zn es principalmente un activador enzimático, por su capacidad de formar uniones entre la enzima y el sustrato (Marschner, 1995; Salisbury y Ross, 1994; Azcón Bieto y Talon, 2008).

**Figura 7.** Concentración de micronutrientes en la planta en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tallos + hojas + flores) de caléndula durante cada etapa productiva (tratamiento = mes). Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.

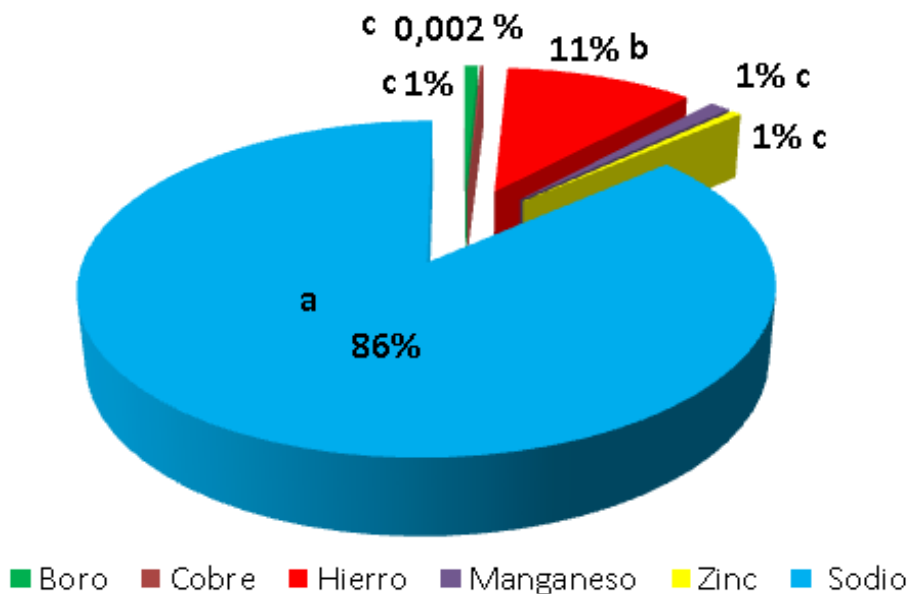


### Concentración de micronutrientes en la planta completa en toda la etapa de desarrollo

Se observa en la Figura 8, la concentración total acumulada en las diferentes etapas de desarrollo de la planta de caléndula. El ANAVA encontró diferencias altamente significativas entre micronutrientes (Anexo B), siendo el sodio el de mayor demanda (29106,11 mg.kg<sup>-1</sup>), seguido de Fe (3819,35 mg.kg<sup>-1</sup>), sin diferir estadísticamente entre sí se encontró al Mn (422,0 mg.kg<sup>-1</sup>), B (268,80 mg.kg<sup>-1</sup>), Zn (213,79 mg.kg<sup>-1</sup>) y Cu (76,09 mg.kg<sup>-1</sup>). Teixeira *et al.* (2000) expresa que los nutrientes más exigidos durante algunas etapas de desarrollo de la caléndula fueron el hierro, manganeso y boro.

En el Anexo C se observan las correlaciones de estos elementos en cada etapa de desarrollo en la planta completa de caléndula.

**Figura 8.** Concentración de micronutrientes y elemento benéfico en la planta completa (tallos + hojas + flores + semillas) en toda la etapa de desarrollo (mes 2 + 3 + 5 + 6 + 7) expresados en porcentaje relativo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.



## 5.5 Dinámica de micronutrientes y elemento benéfico en órganos de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo.

**Sodio.** La Figura 9 muestra el comportamiento del Na en cada órgano durante las diferentes etapas de desarrollo. Las hojas se diferencia estadísticamente al compararse con capítulos florales y semillas, entre estos dos últimos no hay diferencia significativa, al igual que los tallos al compararse con sus semejantes (capítulos florales, hojas y semillas) ANAVA anexo B.

Las mayores concentraciones se localizaron en las hojas (10557,0 mg.kg<sup>-1</sup>), seguidos de los tallos (5973,0 mg.kg<sup>-1</sup>), capítulos florales (2773,0 mg.kg<sup>-1</sup>) y los más bajos las semillas (1001,0 mg.kg<sup>-1</sup>). Las altas concentraciones de sodio con respecto a los micronutrientes, dejan entrever su alta actividad en procesos de control osmótico y en consecuencia en la generación de turgencia, capaz de sustituir al K por sus funciones y concentraciones parecidas en los cloroplastos de muchas especies vegetales, de ahí parte el hecho que el Na ejerce funciones de fosforilación en la fotosíntesis (Marschner, 2003; Salisbury y Ross, 2000).

El Na y K son efectivos en la expansión foliar y en las variaciones de turgencia de células guarda, inducidas por la entrada de los iones. El aumento de K en estas células acarrea absorción de agua de las adyacentes. En las especies cuya membrana presenta alta permeabilidad para el K, son igual para el Na, de manera que la sustitución ocurre en estas condiciones (Marschner, 2003; Malavolta, 2001).

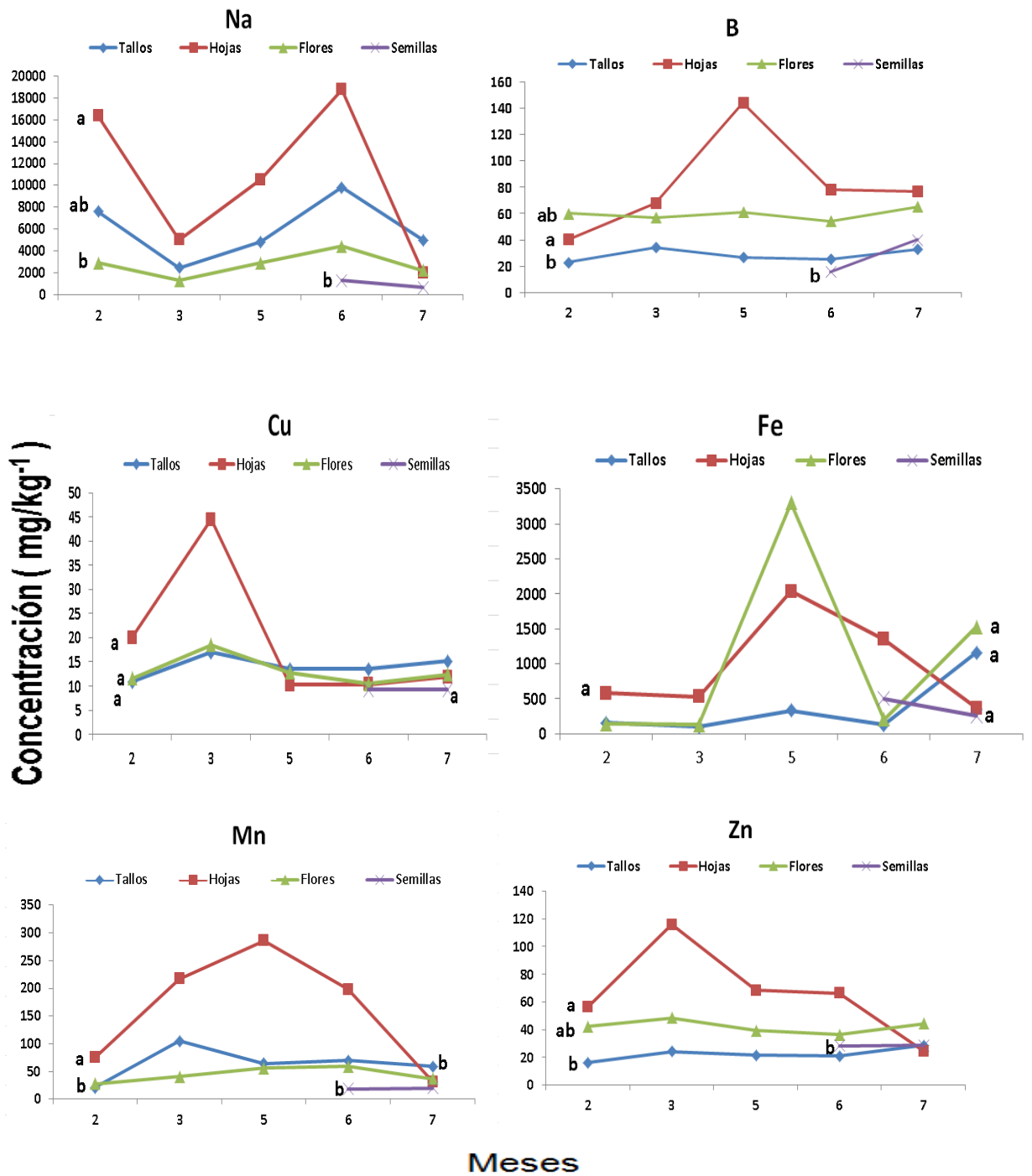
**Boro.** El Análisis de varianza muestra existen diferencias altamente significativas ( $Pr > F = 0.0090$ ) entre los órganos (Anexo B). Como se observa en la Figura 9, el concentración de B en los capítulos florales es similar a los demás órganos, pero las hojas si difieren estadísticamente con tallos y semillas.

De igual comportamiento al Na, el mayor concentración se encontró en las hojas ( $81,66 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), luego las flores ( $59,47 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), tallos ( $28,37 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y semillas ( $28,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) con concentraciones parecidas en todo el ciclo.

El B es un elemento de poca movilidad en la planta, siendo las hojas y órganos reproductores los que presentan las máximas concentraciones, comprobado que las plantas jóvenes absorben más B que las viejas (Navarro y Navarro, 2003). El B actúa en los puntos de crecimiento apicales del material genético (Bonilla *et al*, 1994), este elemento se relaciona con el metabolismo de los azúcares, facilitando el transporte de los carbohidratos a través de las membranas, ayudando a la translocación interna de los carbohidratos

**Cobre.** El ANAVA (Anexo B) muestra que no existen diferencias significativas ( $Pr>F=0.4794$ ) entre los órganos evaluados (Figura 9). Si bien para cobre no se encontró diferencia significativa, fue en las hojas ( $19.38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) donde se exhibió la mayor cantidad del nutrimento. El cobre es un micronutriente esencial en el balance de los bioelementos que en la planta regulan el proceso de transpiración, el Cu, Zn y B regulan la cantidad y movimiento del agua dentro de la planta (Navarro y Navarro, 2003).

**Figura 9.** Concentración de micronutrientes y elemento benéfico en órganos (tallos, hojas, flores y semillas) de la planta de caléndula a través de las diferentes etapas de desarrollo. Promedios con igual letra no difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) según Duncan.



**Hierro.** Este elemento no presenta diferencias significativas, como se Observa en la Figura 9 que hay una sola agrupación según Duncan en los órganos de la planta. Sin embargo, se encontró el mayor concentración de Fe en los capítulos florales ( $1061,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), seguido de hojas ( $976,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), semillas ( $382,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y tallos ( $377,40 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

El Fe tiene baja movilidad en tejidos vegetales debido al elevado concentración de P y Mn, deficiencia de K y baja intensidad lumínica (López, 1998). Los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas jóvenes producidas por la baja tasa de translocación, acumulándose en raíces y hojas viejas. Marschner (2003) indica que la concentración crítica de Fe en las hojas está entre 50 y  $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ . En términos generales las plantas  $C_4$  requieren más Fe que las  $C_3$ , pero la concentración crítica es similar y está alrededor de  $72 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de biomasa en las  $C_3$  y de 66 en las  $C_4$ . Navarro y Navarro (2003) a su vez expresa que la concentración del Fe varía de 25 a  $250 \text{ mg.kg}^{-1}$  en peso seco, localizándose en los cloroplastos de las hojas.

**Manganeso.** El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas ( $\text{Pr}>F=0.0256$ ) entre órganos. Como se observa en la Figura 9, el concentración de Mn en hojas difiere estadísticamente a los demás, pero entre tallos, capítulos florales y semillas no se encontró diferencia. En orden descendente el concentración de Mn se localizo en hojas ( $161,85 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), tallos ( $63,85 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), capítulos florales ( $44,48 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y semillas ( $19,37 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

La mejor función definida del Mn está en la reacción fotosintética donde el oxígeno se produce a partir del agua (Marschner, 1995; Salisbury y Ross, 2000). Los mayores síntomas de deficiencia de este elemento está asociado a clorosis intervenal en hojas viejas, dependiendo de la especie y crecimiento (Taiz y Zeiger, 2006). Burnell (1988) y Azcón Bieto y Talón (2003) expresan que el Mn actúa como cofactor activando cerca de 35 reacciones enzimáticas, que acompañado a con otras formas que contienen Fe, Cu o Zn constituye enzimas implicadas en la

defensa de la planta contra la presencia de radicales superóxidos  $O_2^-$ . En otros estudios se ha comprobado la capacidad de remplazar el  $Mn^{2+}$  por  $Mg^{2+}$  y viceversa.

**Zinc.** El ANAVA (Anexo B) mostró que existen diferencias significativas ( $Pr>F=0.0149$ ) entre órganos. Como se observa en la Figura 9, la concentración de Zn en capítulos florales no difiere estadísticamente con los demás, pero las hojas si difiere con tallos y semillas. La localización de la concentración de Zn fue similar a los demás elementos, siendo en las hojas ( $66,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) donde se concentro en su mayoría, seguido de capítulos florales ( $42,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), semillas ( $28,42 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y tallos ( $22,31 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

El Zn es absorbido por las plantas como  $Zn^{2+}$ , principalmente como quelato, su concentración oscila de 20 a  $150 \text{ mg.kg}^{-1}$  y, su movilidad es baja. Dentro de su función enzimática participa en la biosíntesis ácido indolacético AIA (auxina), formación de la clorofila o impide su destrucción y metabolismo nitrogenado (Navarro y Navarro, 2003; Azcón Bieto y Talón, 2000; Tisdale *et al.*, 2005)

En forma de resumen se presenta en la Tabla 10 las concentraciones de micronutrientes en los diferentes órganos de la planta de caléndula a través de sus etapas de desarrollo.

**Tabla 10.** Concentración de micronutrientes y elemento benéfico ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) en órganos a través de las diferentes etapas de desarrollo.

Órgano	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>2 meses después de la siembra</b>						
Tallos	7604,47	22,84	10,88	155,10	20,82	16,15
Hojas	16348,40	40,52	20,00	584,53	75,33	56,60
Flores	2900,61	60,06	11,62	144,30	28,09	42,24
<b>3 meses después de la siembra</b>						
Tallos	2468,43	34,39	17,03	104,40	104,70	24,29
Hojas	5052,97	68,04	44,44	530,97	217,53	115,86
Flores	1320,10	57,06	18,51	125,30	40,87	48,50
<b>5 meses después de la siembra</b>						
Tallos	4859,70	26,74	13,54	336,20	64,83	21,40
Hojas	10559,93	144,37	10,22	2038,13	286,41	68,36
Flores	2938,15	60,83	12,83	3300,23	56,60	39,27
<b>6 meses después de la siembra</b>						
Tallos	9806,23	25,23	13,49	126,10	69,55	21,02
Hojas	18760,86	78,21	10,37	1354,10	198,13	66,30
Flores	2938,15	60,83	12,83	3300,23	56,60	39,27
Semillas	1326,83	15,95	9,22	506,04	18,56	28,30
<b>7 meses después de la siembra</b>						
Tallos	5019,43	32,65	15,15	1165,20	59,37	28,68
Hojas	2060,70	77,16	11,91	373,00	31,83	24,54
Flores	2250,20	64,94	12,42	1525,87	37,34	44,44
Semillas	674,55	40,09	9,27	258,33	20,17	28,53
<b>Ciclo total</b>						
	29106,11	268,80	76,09	3819,35	422,0	213,79

## **5.6 Análisis de componentes principales (ACP) para las variables evaluadas**

La determinación del número de componentes se realizó por el porcentaje explicado. El porcentaje de variabilidad explicada se determinó en 90% y, se consideraron los sucesivos componentes hasta superar el porcentaje prefijado. Lo cual generó como resultado tres componentes principales.

Se considera que todas las variables poseen igual relevancia dentro de la dinámica nutricional evaluada. Se usó la matriz de correlaciones para realizar el análisis.

La varianza total explicada muestra la formación de cuatro componentes principales, los cuales explican el 98,18% de la varianza total acumulada, sin embargo, como se observa en la Tabla 11, la descripción de los resultados se plasmó en función de los tres primeros componentes explicando el 94,56%.

El primer componente principal (CP1) contribuyó con más del 75% de la varianza total explicada, en este se agrupan: nitrógeno, potasio, calcio, azufre y boro contribuyendo positivamente al componente, son los nutrientes más destacados dentro del componente, existiendo correlaciones altas cercanas a uno, en general en todos los nutrientes con más de dos órganos. El potasio fue el nutriente que en casi todos los órganos estudiados tuvo una contribución positivamente sobre el resto de las variables, siendo ésta destacada por la magnitud de su correlación (0.98-0.99), a excepción de los tallos.

Se destaca el papel del sodio con toda su contribución muy alta (0.96-0.99). En general en este componente casi la totalidad de variables contribuyeron a él, mostrando la relevancia de todos los nutrientes evaluados en la variabilidad de la dinámica estudiada. Esto posiblemente se deba a que en la nutrición vegetal los

nutrimentos evaluados son de vital importancia, no olvidando que son considerados elementos esenciales para el correcto desarrollo de la mayoría de las plantas.

El segundo componente principal (CP2) contribuyó con el 10% de la varianza total explicada, las variables que más contribuyeron son el boro en las hojas, nitrógeno en hojas, el magnesio en las flores (capítulos florales), continuando con el azufre en las semillas, y el magnesio en las hojas siendo este el de menor aporte al componente. En este componente se observa claramente la actuación activa de las hojas como órgano involucrado en vitales procesos nutricionales de las plantas.

El tercer componente principal (CP3) contribuyó solamente con un poco más del 8% de la varianza total explicada, y dentro del mismo la variable nitrógeno en flores, y el magnesio en las hojas, fueron las que más contribuyeron, seguida del fósforo en los tallos y el azufre en las semillas todas de forma positiva.

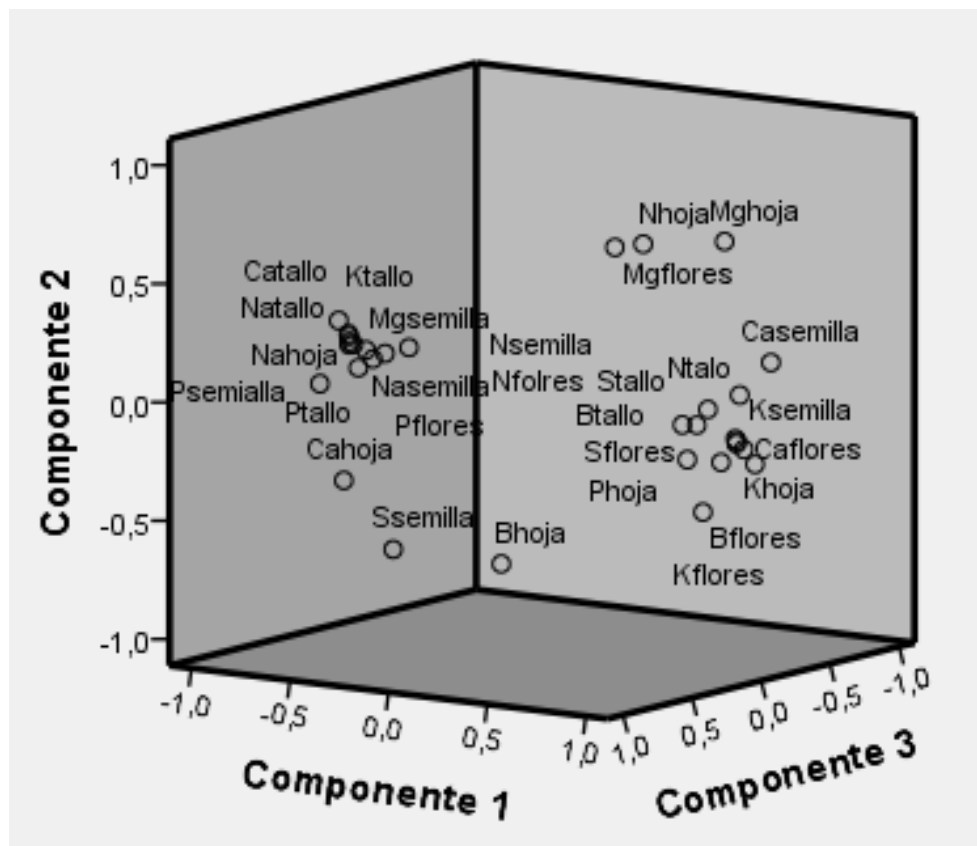
**Tabla 11.** Matriz de componentes y valores propios de las variables originales evaluadas en la dinámica nutricional estudiada.

Variables	Componentes		
	CP1	CP2	CP3
Nitrógeno en tallo	0,95 <sub>5</sub>	0,07	-0,07
Nitrógeno en hoja	0,66 <sub>12</sub>	0,72 <sub>2</sub>	0,21
Nitrógeno en flores	-0,13	0,28	0,95 <sub>1</sub>
Nitrógeno en semilla	-0,88 <sub>8</sub>	0,05	-0,30
Fósforo en tallo	-0,75 <sub>11</sub>	0,03	0,54 <sub>3</sub>
Fósforo en hoja	0,90 <sub>7</sub>	-0,16	0,24
Fósforo en flores	-0,93 <sub>6</sub>	0,01	0,01
Fósforo en semillas	-0,99 <sub>1</sub>	0,09	-0,02
Potasio en tallo	-0,99 <sub>1</sub>	0,13	-0,02
Potasio en hoja	0,99 <sub>1</sub>	-0,12	0,01
Potasio en flores	0,98 <sub>2</sub>	-0,19	0,10
Potasio en semillas	0,99 <sub>1</sub>	-0,11	0,01
Calcio en tallo	-0,97 <sub>3</sub>	0,21	0,09
Calcio en hoja	-0,88 <sub>8</sub>	-0,44	0,19
Calcio en flores	0,98 <sub>2</sub>	-0,16	-0,06
Calcio en semilla	0,93 <sub>6</sub>	0,17	-0,34
Magnesio en tallo	0,93 <sub>6</sub>	-0,25	-0,21
Magnesio en hoja	0,49	0,59 <sub>5</sub>	-0,62 <sub>2</sub>
Magnesio en flores	0,56 <sub>13</sub>	0,70 <sub>3</sub>	0,26
Magnesio en semilla	-0,98 <sub>2</sub>	0,06	-0,12
Azufre en tallo	0,93 <sub>6</sub>	0,03	0,12
Azufre en hoja	0,99 <sub>1</sub>	-0,10	0,02
Azufre en flores	0,81 <sub>10</sub>	-0,06	0,04
Azufre en semilla	-0,38	-0,63 <sub>4</sub>	0,53 <sub>4</sub>
Sodio en tallo	-0,99 <sub>1</sub>	0,14	-0,01
Sodio en hoja	-0,99 <sub>1</sub>	0,10	-0,03
Sodio en flores	-0,99 <sub>1</sub>	0,09	-0,05
Sodio en semilla	-0,96 <sub>4</sub>	0,02	-0,14
Boro en tallo	0,94 <sub>6</sub>	0,00	0,32
Boro en hoja	-0,43	-0,82 <sub>1</sub>	-0,32
Boro en flores	0,86 <sub>9</sub>	-0,42	0,07
Porcentaje de varianza	75,829	10,34	8,392
Porcentaje de varianza acumulada	75,829	86,17	94,561

Obs. Contribución de cada variable a los componentes uno, dos, y tres con sus subíndices (Coeficientes en los tres vectores), para la variabilidad de la dinámica nutricional estudiada. CP: Componente principal.

En la Figura 10 se observa las asociaciones de nutrientes en los diferentes órganos de la caléndula, por ejemplo en el CP1, en el tallo el S, B y N poseen una correlación alta y positiva; en el CP2 el N, B y Mg poseen correlación positiva alta en la hoja. Asociaciones de esta índole permitirá comprender la asimilación de estos nutrientes en la caléndula y, con ello, en futuras investigaciones analizar órganos y nutrientes específicos para explicar la variabilidad de las respuestas a los que son sometidos los cultivos.

**Figura 10.** Asociación de nutrientes en órganos formados en tres componentes principales.



## 5.7 Correlaciones entre relaciones de nutrientes modelada para capítulos florales.

Teniendo como precepto que los nutrientes en solución son aquellos a los que la planta realmente tiene acceso para suplir sus necesidades de crecimiento y desarrollo (Menjivar, 2012) se realizó análisis de correlación, el cual mostro como las concentraciones de N en tejido presentan relación directa con P y K e inversa con Ca, el Mg presento relación directa con P e inversa con N, el Ca presentó relación directa solamente con el S (Tabla 12).

**Tabla 12.** Correlaciones entre concentración de macronutrientes en capítulos florales obtenidos durante todas las etapas de desarrollo evaluadas.

Capítulos florales (flores)					
Expresión	r	Signif.	Expresión	r	Signif.
N/P	0,55	*	P/S	-0,35	NS
N/K	0,55	*	K/Ca	0,18	NS
N/Ca	-0,55	*	K/Mg	0,50	NS
N/Mg	0,21	NS	K/S	0,42	NS
N/S	0,01	NS	Ca/Mg	0,25	NS
P/K	0,50	NS	Ca/S	0,52	*
P/Ca	-0,45	NS	Mg/S	0,02	NS
P/Mg	0,62	*			

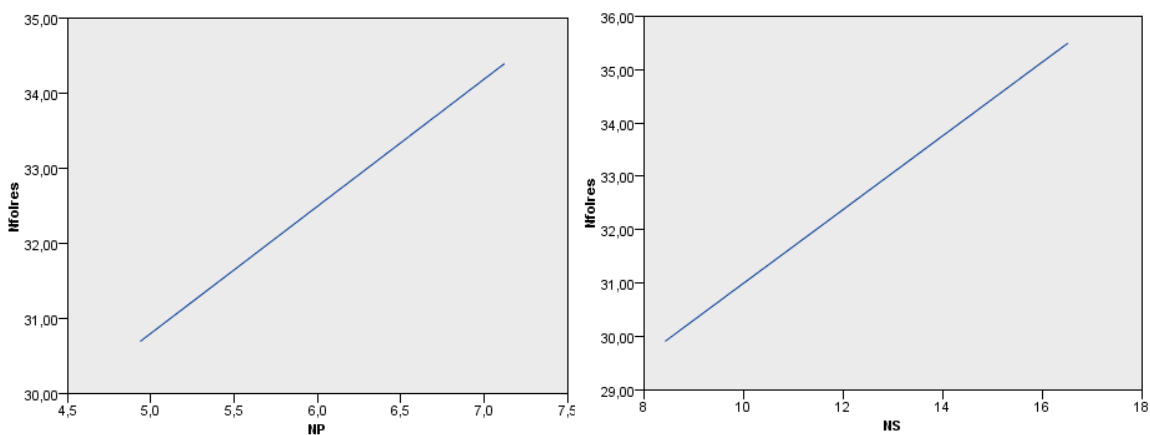
\*La correlación es significativa al nivel 0,05.

La absorción y acumulación de nutrimentos por las plantas se sujeta parcialmente a la concentración del elemento en el medio, a su vez la relación positiva o negativa que posea cada nutrimento con otros puede influir en su concentración en la planta, a continuación se observan algunas relaciones en capítulos florales de la caléndula (Figura 11, 12 y 13).

Las relaciones de N/P y N/S tuvieron un efecto positivo en la concentración de N en capítulos florales (Figura 11), la mejor absorción de N se encuentra a un valor de 7,0 en la relación N/P y, un valor de 16 para N/S. Este comportamiento positivo coincide con lo observado en la Figura 6, la concentración de P ( $5,52 \text{ g.kg}^{-1}$ ) y S ( $2,79 \text{ g.kg}^{-1}$ ), el N ( $32,33 \text{ g.kg}^{-1}$ ) se acumuló en mayores cantidades en este órgano.

Alarcón (2008) expresa que el nitrato presenta sinergismo y antagonismo débil con P y K, respectivamente, mientras que amonio presenta sinergismo con P y antagonismo fuerte con K. La correlación mostró que el N y P muestran correlaciones significativas entre sí, Moreira *et al.* (2005) encontraron que aumentando la fertilización de N aumentan sus concentraciones en la parte aérea y capítulos florales y, la adición de fósforo reduce el concentración de nitrógeno en la parte aérea y proporcionalmente incremento su concentración de fósforo en capítulos.

**Figura 11.** Relaciones N/P, N/S y su influencia en el concentración de nitrógeno en capítulos florales



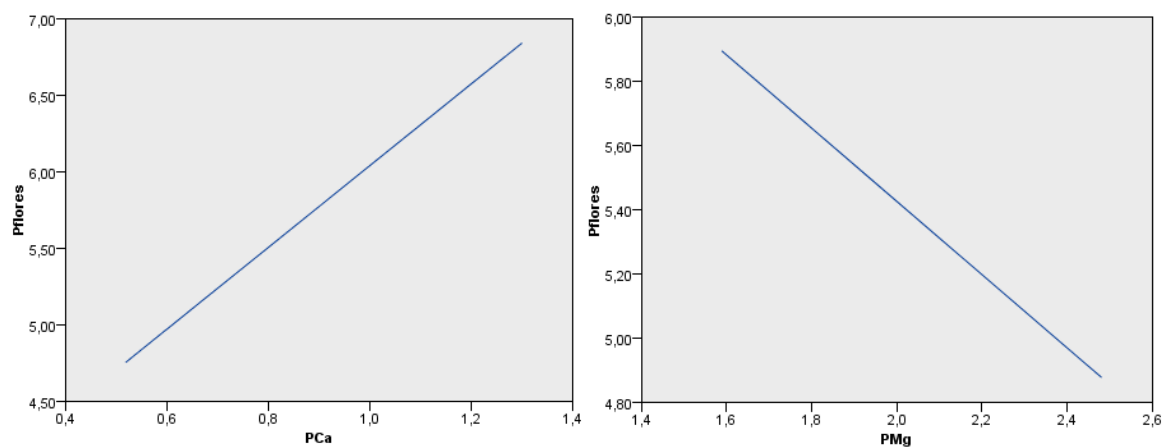
El S posee una correlación positiva con el N, posiblemente porque ambos nutrientes contribuyen en la formación de compuestos orgánicos como los aminoácidos y por ende proteínas en la planta, fundamento corroborado por

(Bonilla, 2008; Mengel y Kirkby, 2000). Tendencia similar ocurre entre N y Mg al no encontrar correlaciones significativas. Szwejkowska y Bielski (2012) encontraron que aumentando la fertilización nitrogenada en la caléndula, el Mg tenía un efecto negativo en la productividad.

Para aumentar el concentración de P en los capítulos florales se debe aumentar las relaciones P/Ca a un valor de 1,20, pero si aumenta la relación P/Mg su efecto es negativo para P (Figura 12). Posiblemente la relación de P/Ca fue positiva ya que el pH del suelo (6,55-6,92) fue adecuado proporcionandolos en cantidades adecuadas, ya que Brewster (2001) y Menjivar (2012) confirman que la absorción de este elemento es restringida por factores como pH, materia orgánica, presencia de óxidos e hidróxidos de  $Fe^{3+}$  y  $Al^{3+}$  y de elevadas concentraciones de  $Ca^{2+}$ .

Tisdale *et al.* (1966) comentan que el Mg participa en el metabolismo del P (constituyente de ADN y ARN) en la planta. A su vez Salisbury y Ross (2000) expresa que la presencia del Mg en la clorofila activa enzimas necesarias en fotosíntesis y respiración y, sintetiza ácidos nucleicos (Marschner, 2003).

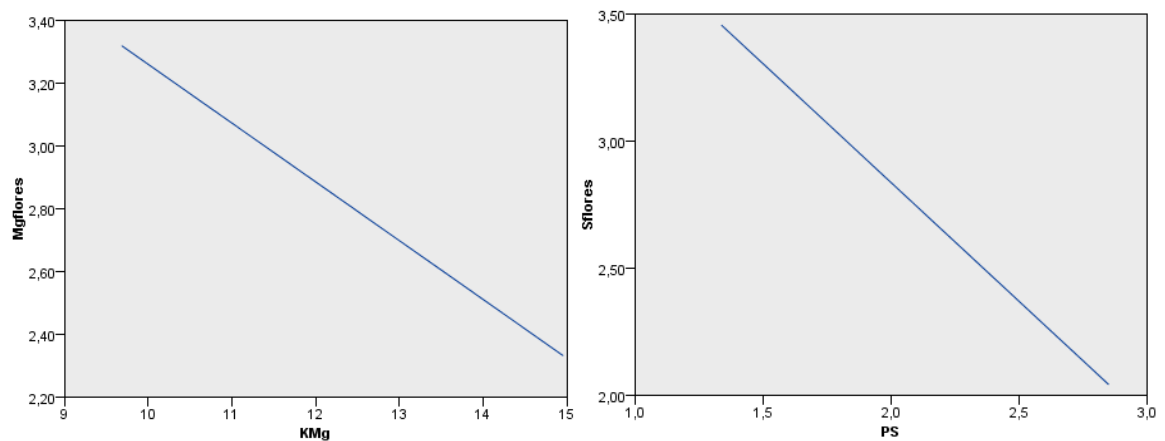
**Figura 12.** Relaciones P/Ca, P/Mg y su influencia en el concentración de fósforo en capítulos florales



El aumentar las relaciones de K/Mg a un valor de 15 tendrá un efecto negativo la el concentración de Mg en capítulos florales de la caléndula. Kurvits y Kirkby (1980) expresan la competencia que sufre el  $Mg^{2+}$  por  $K^+$  y  $NH_4^+$ , afectando su absorción por la planta (Marschner, 1995).

Para S, su concentración disminuye si aumenta la relación P/S (2,5). La caléndula emite un fuerte olor característico, estos aromas es adjudicado en parte a la presencia de S por la producción de aceites (Tisdale *et al.*, 1966). Como se ha observado, al aumentar el concentración de P en tejidos, de manera proporcional lo hace el N, el cual es constituyente de compuestos orgánicos (aminoácidos y proteínas) como lo es el S (Mengel y Kirkby, 2000), posiblemente a la similitud funcional se deba que su concentración se disminuya.

**Figura 13.** Relaciones K/Mg, P/S y su influencia en el concentración de magnesio y azufre en capítulos florales



## 6. CONCLUSIONES

- Las mayores concentraciones para macronutrientes en todo el ciclo de la caléndula fue en orden descendente  $K > N > Ca > P > Mg > S$ , sus concentraciones más altas se localizaron en los capítulos florales (N y P), las hojas (Ca, Mg y S) y los tallos (K), demandando la mayor cantidad en el tercer y séptimo mes (N); segundo y tercero (P, K y Mg); segundo y sexto (Ca) y, quinto y séptimo (S).
- Las mayores concentraciones para micronutrientes en todo el ciclo de la caléndula fue en orden descendente  $Na > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ , sus concentraciones más altas se localizaron en las hojas (Na, B, Cu, Mn y Zn) y capítulos florales (Fe), demandando la mayor cantidad en el segundo y sexto mes (Na); quinto (B y Fe); tercero (Cu y Zn) y, tercero y quinto (Mn).
- Las interacciones positivas de macronutrientes en los capítulos florales para todas las etapas de desarrollo estudiadas fueron N/P, P/Mg, K/N, Ca/S, Mg/P y, las negativas fueron N/Ca. Las regresiones mostraron que para aumentar las concentraciones de N y P debe aumentar la relación N/P, N/S y P/Ca, respectivamente. Para aumentar las concentraciones de P, Mg y S se debe reducir la relación P/Mg, K/Mg y P/S, respectivamente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguila, G. 2000. Extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. Estudio preliminar de sus propiedades. págs. 1-3.
- Alarcón, A. 2000. Tecnología para cultivos de alto rendimiento .Editorial Novedades Agrícolas Murcia. p. 459.
- Alarcón, A. 2008. Historia e introducción a la nutrición mineral: Elementos esenciales. Modulo 1. Máster en nutrición vegetal en cultivos hortícolas intensivos. Área Edafología y química agrícola ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena. España. 80 p.
- Amézquita, E. y Londoño, H. 1997. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. Revista Suelos Ecuatoriales Vol.27:163-168.
- Arias, E. Alzate, 1975. Plantas Medicinales. Tomo II. s.l. : S.N.
- Azcón Bieto, J.; Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal, Interamericana. Madrid: McGraw-Hill. Segunda edición 651 p.
- Barry, C. 2009. Red hidroponia. [En línea] 2009. [Consultado el: 26 de 08 de 2010.] <http://lamolina.edu.pe/hidroponia/RedHidro.htm>.
- Benton Jones, J. 1998. Plant nutrition manual. CRC Press, Florida, pp. 149.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo.
- Berti, D. M. 2003. Influence of sowing date and seed origin on the yield of capitula of *Calendula officinalis* L. during two growing seasons in Chillán. 2003, pág. v.63 n.1.
- Brady, N. and Weil, R. 1999. The nature and properties of soils. Twelfth edition. Prentice Hall inc. pág. 130-160, 449-459, 491-536, 540-580, 585-606. New Jersey.
- Bonilla, C., Sánchez, M., Perlaza, D. 2007. Evaluación de métodos de propagación, fertilización nitrogenada, y fenología de estevia en condiciones del Valle de Cauca. Redalyc. 56(3): 131-134 pág.

Bonilla, I. 2008. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp. 103-141. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.

Bonilla, C. R.; García, A.; Castillo, L. E.; Salazar, F. E. 1994. Boro y Zinc dos elementos limitantes en Colombia. Palmira: ICA. 50p.

Burnell, J. N. 1988. The biochemistry of manganese in plants. *In* 'Manganese in Soils and Plants' (R. D. Graham, R. J. Hannam and N. C. Uren, eds.), pp. 125-137. Kluwer Academic, Dordrecht.

Castro, H. 2004. Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En Memorias Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. P.37-42.

Castro, H.E. y Gómez, M.I. 2010 Fertilidad de suelos y fertilizantes. Ciencia del suelo, principios básicos, Bogotá, D.C., Colombia. P. 217.

Castro, H. 2004. Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En: *Memorias Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo*. CIAT, Palmira, Valle, Colombia. p. 37-42.

Genicafé. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia: consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. Primera edición. Chinchiná. p 202.

Ciampitti, I., García, F. 2007. Requerimientos nutricionales en Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico. N° 11 IPNI International Plant Nutrition Institute. Argentina. 8 Pág. [Documento en línea] <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083>.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), 2006. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Palmira, Colombia. 56 p.

Conpes 3514, 2008. Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia, Bogotá D.C. 45 pág.

Colegio oficial de farmacéuticos de Bizcaia, asociación española de médicos naturistas.2000.Fitoterapia, Vademécum de Prescripción. Barcelona: Masson., 1148 p.

Conpes 3514, 2008. Consejo nacional de política económica y social. República de Colombia. Departamento nacional de planeación. Documento Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales. 45 p.

Critchley, C. 1985. The role of chloride in photosystem II. *Biochim. Biophys. Acta* 811:33-46.

Devlin, M. 1982. *Fisiología vegetal*. Barcelona (España): Omega,S.A, págs. 272,273,304,305.

Díaz, M. J. A. 2006. Definición de estrategias de desarrollo para tres cadenas productivas de Biocomercio. Actividad No. 9: Definición de estrategias de desarrollo para tres cadenas productivas de biocomercio Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt 89 P.

Díaz-Zorita, M. 2012., Importancia del Fósforo en la Nutrición Mineral de Girasol, *EEA INTA - Proyecto Fertilizar-INTA* [Documento en línea] <http://www.elsitioagricola.com/articulos/diazzorita/Importancia%20del%20Fosforo%20en%20la%20Nutricion%20Mineral%20de%20Girasol.asp>.

Estudio de oferta y demanda del sector de productos naturales 2010. Latinpharma. [Documento en línea] <http://www.proexport.com.co/.../DocNewsNo10050DocumentNo7845.pdf>.

Fassbender, H.W. and Boernemiza, E. 1987. *Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. 5ta. Reimpresión. San José. 420 pág.

Filgueira, F.A.R. 2003. *Novo manual de olericultura: agrotecnología moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2ed. Viçosa: UFV. 412 p.

Fuentes, F. V. R., Lemes, H. C. M., Rodríguez, F. C. A. y Germosen, L. 2000. *Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. Fichas técnicas de cultivo*. Ed. L. Germosen. Santo Domingo. Centenario, S.A. 197 pág.

García, B. 1975. *Flora Medicinal de Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional. 325 p.

Gómez, M. E., Hernández, A. J. y Rivero, T. Y. 2010. Las plantas medicinales, 2 métodos de cultivo. *Innovación tecnológica*. 16 (1): 1-15.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. 2006. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá: IGAC, Subdirección Agrologica, 4ª edición. 502 p.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 2001. *Encuesta nacional de plantas medicinales y aromáticas una aproximación al*

mercado de las P M y A en Colombia [Documento en línea]  
<http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php> 26 p.

Jaramillo D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. pp.619.

Jungk, A.O. 1996. Dynamic of nutrient movement at the soil-root interface. En: Waisel, Eshel & Kafkafi (Eds). *Plant root the hidden half*. Marcel Dekker, New York: 529-556.

Król, B. 2011. Yield And The Chemical Composition Of Flower Heads Of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L. cv. Orange King) Depending On Nitrogen Fertilization. University of Life Science in Lublin. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 10(2). pp. 235-243.

Kurvits, A. and Kirkby, E. A. 1980. The uptake of nutrients by sunflower plants (*Helianthus annuum*) growing in a continuous flowing culture system, supplied with nitrate or ammonium as nitrogen source. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 143,140-149.

Lemaire, G. and Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in canopies pp. 3-43. IN: Lemaire G. (ed.). *Diagnosis of thenitrogen status in crops*. Springer Verlang. Berlín-Germany.

Link, H. 1974. Uptake and translocation of calcium. *Acta Hort.* 45: 53-64. [En línea]  
[http://scholar.google.com.co/scholar?q=Link+H+%2C1974.+Uptake+and+translocation+of+calcium.+Acta+Hort.+45%3A+53-64.&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0](http://scholar.google.com.co/scholar?q=Link+H+%2C1974.+Uptake+and+translocation+of+calcium.+Acta+Hort.+45%3A+53-64.&btnG=&hl=es&as_sdt=0).

Lora, S.R. 2010. Propiedades Químicas del Suelo. Ciencia del suelo. Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1 ed. 594 p.

López, Y. 1998. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: Silva, F (ed.) *Actualidad y futuro de los micronutrientos en la agricultura*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 187 p

Madero, E. 2011. Cátedra de Interpretación de Análisis Físicos del Suelo. Escuela de Posgrados. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, 1989. A.S. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201p.

Marschner, H. 2003. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press. London, 887 p.

Mengel, K. y Kirkby, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute .Basel ,Switzerland. 692 p.

Mejía de Tafur, M.S. 2010. Conceptos sobre fisiología y funciones de los minerales en la nutrición de plantas. Palmira, Colombia Universidad Nacional de Colombia sede Palmira ,120 p.

Menjivar, J.C. 2012. Cátedra de Química y Fertilidad de Suelos. Escuela de Posgrados. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

Ministerio de la Protección Social República de Colombia, 2008. Vademecum colombiano de plantas medicinales, Bogotá, D.C.

Monge. E; J.; Sanz, M.; Blanco, A. and Montañés, L.1994. Calcium as a nutrient for plants. The bitter pit in apple. An. Estac.Exp. Aula Dei (Zaragoza) 21(3): 189-201. [En línea]  
[http://www.eead.csic.es/fileadmin/publicaciones\\_pdf/21\\_3.pdf#page=81](http://www.eead.csic.es/fileadmin/publicaciones_pdf/21_3.pdf#page=81)

Moreira P, A; Marchetti M, E; Vieira M, C; Novelino J, O; Gonçalves M, C; Robaina, A. 2005. Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, v.8, n.1, p.18-23.

Montenegro, H. y D. Malagón. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá. 813 p.

Moore, T., Sánchez, L.P., Desmarchelier, C. 2005. Manual de Cultivo y Manejo de Calêndula (*Calendula officinalis* L.). Proyecto de atención primaria de la salud con plantas medicinales y fitomedicamentos “cultivando la salud”. Municipio de Malvinas Argentinas provincia de Buenos Aires, Argentina.

Moreira, P.A.; Marchetti, M.E.; Vieira, M.C.; Novelino, J.O.; Goncalves, M.C.; Robaina, A. 2005. Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com nitrogenio e fósforo. *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, Vol 8(1), p. 18-23.

Muñoz, C.L.M. 2004. Plantas medicinales españolas *Calendula officinalis* L. (Asteraceae), *Medicina Naturista*. pág. 5:257-261.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO). 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Las plantas necesitan alimento. Roma Italia. s.e.Vol. 9. 198 pág.

Navarro, S. y Navarro, G. 2003. Química Agrícola. El SUELO Y LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA LA VIDA VEGETAL. SEGUNDA EDICIÓN. p 487.

Rao, I.M. 2009. Essential plant nutrients and their functions. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Working Document No. 36. Cali, Colombia. 36 p.

Rivera, P. J. R. 2000. *Revision bibliografica sobre siete especies medicinales y su potencial uso*. Palmira : s.n.

Pérez, A.E 1956 Plantas útiles de Colombia. Madrid. p 291.

Piraneque, N.V. 2008. Factores edafológicos que determinan la presencia y diseminación del hongo *Sclerotium cepivorum* en el cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Tibasosa, Boyacá. Tesis de grado. Doctorado en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 193 p.

Salisbury, B.F. y Ross, C.W 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamérica. México. 759 pág.

Sánchez-Monje E.1980.Diccionario de plantas agrícolas .Servicio de Publicaciones Agrarias: Ministerio de Agricultura Madrid.

SCCS (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo). 2010. Ciencia del suelo principios básicos. Ed. Guadalupe .1<sup>ra</sup> edición Bogotá, D.C.594 p.

SISAV (Sistema de Información del Sector Agropecuario del Valle del Cauca). 2010."Agricultural Information System Valle del Cauca" Consultado Lunes, 21 Julio, 2010. [En línea] <http://sisav.valledelcauca.gov.co/index.php?module=htmlpages&func=display&pid=18>.

Stewxart, C.L. and Lovett-Doust, L. 2003. Effect of phosphorus treatment on growth and yield in the medicinal herb *Calendula officinalis* L. (Standard Pacific) under hydroponic cultivation. Canadian Journal of PLANT SCIENCE. Vol: 83 (3).

SSEW. Soil Survey of England Wales, 1982. Soil survey laboratory methods. In: Technical Monograph, vol. 6, Harpenden, UK.

Szwejkowska, B. and Bielski, S. 2012. Effect Of Nitrogen And Magnesium Fertilization On The Development And Yields Of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 11(2), 141-148

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 764 p.

- Teixeira, N.T; Polato, A.M.; Tavares, M.A.G.C. 2000. Extração de nutrientes pela cultura da calêndula (*Calendula officinalis* L.). Centro Regional Universitario de Espirito Santo do pinhal. Rev. Ecosistema Vol. 25, N° 2.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin 1966. Soil Fertility and Fertilizers. 2da Edition. Ed. Mc. Millan. Ontario. 674p.
- Tisdale, S. L.; Havlin, J. and Nelson, W. 2005. Fertility and fertilizers An Introduction to nutrient Management Prentice Hall, seventh edition, New Jersey.
- Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (UNAL). 2009. Vademecum de Plantas Medicinales. Colombia (Palmira): s.n.
- Vander, A. 1964. Plantas Medicinales, *las enfermedades y su tratamietno por las plantas*. Barcelona: SINTESIS, Ronda Universitaria, págs. 45, 165,224.
- Valencia, A.G. 1999. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná (Colombia), Agro insumos del café S.A. Cenicafé, 94 Pág.
- Vang-Petersen O, Poulsen E, Hansen P (1973) the nutritional state of Danish fruit orchards as shown by leaf analysis. I. *Tidsskr. Planteavl.* 77: 37-47.
- Varela, J. y Velásquez, V. 1998. Determinación de los requerimientos nutricionales (N,P,K,Ca y Mg) del Lulo (*Solanum quitoense*. Lam). Palmira: s.n.

## ANEXOS

**Anexo A.** Análisis de varianza, comparación de promedios según Duncan al  $P < 0.05$  para macronutrientes por etapas de desarrollo, órganos evaluados y ciclo total.

### MACRONUTRIENTES POR ETAPAS PRODUCTIVAS

Nutriente	R <sup>2</sup>	C.V %	Pr > F	
<b>N</b>	0.727968	8,0605	0.0069	**
<b>P</b>	0.850595	9,8710	0.0004	**
<b>K</b>	0.870209	5,6269	0.0002	**
<b>Ca</b>	0.806972	7,2827	0.0013	**
<b>Mg</b>	0.841122	8,7111	0.0005	**
<b>S</b>	0.957117	6,3250	<.0001	**

Obs. \*= significativo, \*\*= altamente significativo, ns= no significativo

### MACRONUTRIENTES POR ETAPAS PRODUCTIVAS

	<b>N</b>		<b>P</b>		<b>K</b>		<b>Ca</b>		<b>Mg</b>		<b>S</b>	
<b>Trat*</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
<b>2</b>	23,55	C	5,38	A	47,08	A	16,06	BA	4,07	A	2,74	C
<b>3</b>	28,82	BA	4,87	A	46,94	A	12,57	D	3,39	B	2,36	D
<b>5</b>	23,89	C	3,51	B	35,26	C	13,58	DC	2,74	C	3,74	B
<b>6</b>	26,68	BC	3,55	B	36,88	CB	17,72	A	2,61	C	2,45	DC
<b>7</b>	31,10	A	3,51	B	40,86	B	14,73	BC	3,47	B	4,27	A

Promedios con la misma letra en columnas no difieren estadísticamente entre sí. (Prueba de Duncan  $P < 0.05$ ).

(\*). Trat 2= 2<sup>do</sup> mes, Trat 3= 3<sup>er</sup> mes, Trat 5= 5<sup>to</sup> mes, Trat 6= 6<sup>to</sup> mes, Trat 7= 7<sup>to</sup> mes.

### MACRONUTRIENTES POR ÓRGANO

<b>Nutriente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C.V %</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>N</b>	0.695111	15.937	0.0012 **
<b>P</b>	0.506980	24.435	0.0232 *
<b>K</b>	0.753669	18.281	0.0003 **
<b>Ca</b>	0.894182	24.453	<.0001 **
<b>Mg</b>	0.591257	21.490	0.0073 **
<b>S</b>	0.636121	41.488	0.0035 **

Obs. \*= significativo, \*\*= altamente significativo, ns= no significativo

(\*). TRAT 1= N, TRAT 2= P, TRAT 3= K, TRAT 4= Ca, TRAT 5= Mg, TRAT 6= S

### MACRONUTRIENTES POR ORGANO

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo
<b>1</b>	19,09	B	3,39	B	53,82	A	10,38	B	2,56	B	1,46	B
<b>2</b>	29,01	A	3,58	B	36,52	B	27,10	A	4,30	A	5,08	A
<b>3</b>	32,33	A	5,52	A	33,90	B	7,32	B	2,92	B	2,79	B
<b>4</b>	21,87	B	4,28	A	19,66	C	6,17	B	2,74	B	2,15	B

Promedios con la misma letra en columnas no difieren estadísticamente entre sí. (Prueba de Duncan  $P < 0.05$ ).

(\*). Trat 1= Tallos, Trat 2= Hojas, Trat 3= Flores, Trat 4= Semillas.

**Anexo B.** Análisis de varianza, comparación de promedios según Duncan al  $P < 0.05$  para micronutrientes por etapas productivas, órganos evaluados y ciclo total.

<b>MICRONUTRIENTES POR EDADES</b>				
<b>Nutriente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C.V %</b>	<b>Pr &gt; F</b>	
<b>Na</b>	0.995560	4,047	<.0001	**
<b>B</b>	0.989133	2,685	<.0001	**
<b>Cu</b>	0.985783	5,351	<.0001	**
<b>Fe</b>	0.589444	77,251	0.0460	*
<b>Mn</b>	0.996410	3,270	<.0001	**
<b>Zn</b>	0.983665	3,717	<.0001	**

<b>MICRONUTRIENTES POR EDADES</b>												
	<b>Na</b>		<b>B</b>		<b>Cu</b>		<b>Fe</b>		<b>Mn</b>		<b>Zn</b>	
<b>Trat</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
<b>2</b>	8.951	B	41,15	D	14,16	B	294	B	41,41	D	38,33	C
<b>3</b>	2.947	D	53,17	C	26,67	A	253	B	121,03	B	62,88	A
<b>5</b>	6.119	C	77,32	A	12,19	CD	1.891	A	135,95	A	43,01	B
<b>6</b>	11.007	A	52,64	C	11,43	D	563	B	109,06	C	41,26	CB
<b>7</b>	3.110	D	58,25	B	13,16	CB	1.021	BA	42,84	D	32,56	D

(\*). Trat 2= 2<sup>do</sup> mes, Trat 3= 3<sup>er</sup> mes, Trat 5= 5<sup>to</sup> mes, Trat 6= 6<sup>to</sup> mes, Trat 7= 7<sup>to</sup> mes.

<b>MICRONUTRIENTES POR CICLO TOTAL</b>		
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C.V %</b>	<b>Pr &gt; F</b>
0.997	10,4850	<.0001 **
<b>TRAT*</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
1	29106.11	A
2	268.80	C
3	76.09	C
4	3819.35	B
5	422.0	C
6	213.79	C

(\*). TRAT 1= Na, TRAT 2= B, TRAT 3= Cu, TRAT 4= Fe, TRAT 5= Mn, TRAT 6= Zn

<b>Nutriente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>C.V %</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Na</b>	0.4602	74,31	0.0402 *
<b>B</b>	0.5773	41,40	0.0090 **
<b>Cu</b>	0.1678	56,56	0.4794 ns
<b>Fe</b>	0.1396	118,99	0.5667 ns
<b>Mn</b>	0.4989	74,83	0.0256 *
<b>Zn</b>	0.5409	44,36	0.0149 *

Obs. \*= significativo, \*\*= altamente significativo, ns= no significativo

**MICRONUTRIENTES POR ORGANO**

Trat*	Na		B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo
1	5952	AB	28.37	B	14.018	A	377.4	A	63.85	B	22.31	B
2	10557	AB	81.66	A	19.388	A	976.1	A	161.85	A	66.33	A
3	2773	B	59.47	BA	13.162	A	1061.1	A	44.48	B	42.18	BA
4	1001	B	28.02	B	9.245	A	382.2	A	19.37	B	28.42	B

Promedios con la misma letra en columnas no difieren estadísticamente entre sí. (Prueba de Duncan  $P < 0.05$ ).  
 (\*). Trat 1= Tallos, Trat 2= Hojas, Trat 3= Flores, Trat 4= Semillas.

**Anexo C.** Análisis químico en fase soluble del suelo a las dos profundidades analizadas.

Profundidad	CE	Ca-Solub	Mg-Solub	K-Solub	Na-Solub	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
cm	dS m <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----							
0--10	0,36	50,64	9,3	7,7	12,94	0	1,1	53,03	0
10--20	0,3	36,41	7,24	5,34	10,76	0	2,3	51,58	0,02

**Anexo D.** Índices de correlaciones significativas y no significativas entre nutrientes según Pearson en todo el desarrollo del cultivo.

2 MESES							
Expresion		r	Signif.	Expresion		r	Signif.
N/P	4,38	0.38	NS	Ca/B	390354	-0.08	NS
N/K	0,50	-0.93	**	Ca/Cu	1133858	0.99	**
N/Ca	1,47	0.10	NS	Ca/Fe	54508	0.99	**
N/Mg	5,78	0.30	NS	Ca/Mn	387799	0.98	**
N/S	8,60	0.62	*	Ca/Zn	418965	0.73	**
N/Na	2631	-0.19	NS	Mg/S	1,49	0.93	**
N/B	572412	0.98	**	Mg/Na	455	0.87	**
N/Cu	0,00	0.22	NS	Mg/B	98980	0.12	NS
N/Fe	79930	0.13	NS	Mg/Cu	287505	0.99	**
N/Mn	568664	0.27	NS	Mg/Fe	13821	0.98	**
N/Zn	614366	0.74	**	Mg/Mn	98332	0.99	**
P/K	0,11	-0.69	*	Mg/Zn	106234	0.85	**
P/Ca	0,33	-0.87	**	S/Na	306	0.64	*
P/Mg	1,32	-0.76	**	S/B	66583	0.47	NS
P/S	1,96	-0.47	NS	S/Cu	193403	0.90	**
P/Na	601	-0.97	**	S/Fe	9297	0.85	**
P/B	130689	0.55	*	S/Mn	66147	0.92	**
P/Cu	379612	-0.80	**	S/Zn	71463	0.98	**
P/Fe	18249	-0.86	**	Na/B	218	-0.37	NS
P/Mn	129834	-0.77	**	Na/Cu	632	0.91	**
P/Zn	140268	-0.32	NS	Na/Fe	30	0.94	**
K/Ca	2,93	0.25	NS	Na/Mn	216	0.88	**
K/Mg	11,56	0.05	NS	Na/Zn	233	0.50	*
K/S	17,18	-0.31	NS	B/Cu	2,90	0.04	NS
K/Na	5260	0.53	*	B/Fe	0,14	-0.05	NS
K/B	1144207	-0.98	**	B/Mn	0,99	0.09	NS
K/Cu	3323568	0.13	NS	B/Zn	1,07	0.61	*
K/Fe	159774	-0.86	**	Cu/Fe	0,05	0.99	**
K/Mn	0,41	0.08	NS	Cu/Mn	0,342	0.99	**
K/Zn	1228070	-0.46	NS	Cu/Zn	0,370	0.81	**
Ca/Mg	3,94	0.97	**	Fe/Mn	7,11	0.98	**
Ca/S	5,86	0.83	**	Fe/Zn	7,686	0.75	**
Ca/Na	1794	0.95	**	Mn/Zn	1,080	0.84	**

3 MESES							
Expresion	r	Signif.	Expresion	r	Signif.		
N/P	5,91	0.98	**	Ca/B	236486	0.38	NS
N/K	0,61	-0.67	*	Ca/Cu	471526	0.87	**
N/Ca	2,29	-0.66	*	Ca/Fe	49585	0.87	**
N/Mg	8,51	0.11	NS	Ca/Mn	103876	0.99	**
N/S	12,20	0.41	NS	Ca/Zn	199933	0.75	**
N/Na	9782	-0.54	*	Mg/S	1,43	0.95	**
N/B	542250	0.43	NS	Mg/Na	1149	0.77	**
N/Cu	0,00	-0.21	NS	Mg/B	63709	0.94	**
N/Fe	113695	-0.22	NS	Mg/Cu	127030	0.94	**
N/Mn	238183	-0.59	*	Mg/Fe	13358	0.94	**
N/Zn	458436	-0.01	NS	Mg/Mn	27984	0.73	**
P/K	0,10	-0.53	*	Mg/Zn	53862	0.99	**
P/Ca	0,39	-0.78	**	S/Na	802	0.54	*
P/Mg	1,44	-0.06	NS	S/B	44433	0.99	**
P/S	2,06	0.32	NS	S/Cu	88595	0.79	**
P/Na	1654	-0.68	*	S/Fe	9316	0.79	**
P/B	91681	0.27	NS	S/Mn	19517	0.49	NS
P/Cu	182802	-0.38	NS	S/Zn	37565	0.90	**
P/Fe	19223	-0.39	NS	Na/B	55	0.51	*
P/Mn	40271	-0.72	**	Na/Cu	111	0.93	**
P/Zn	77510	-0.18	NS	Na/Fe	12	0.93	**
K/Ca	3,73	-0.10	NS	Na/Mn	24	0.99	**
K/Mg	13,86	-0.80	**	Na/Zn	47	0.84	**
K/S	19,87	-0.94	**	B/Cu	1,99	0.78	**
K/Na	15927	-0.25	NS	B/Fe	0,21	0.77	**
K/B	882929	-0.95	**	B/Mn	0,44	0.46	NS
K/Cu	1760464	-0.56	*	B/Zn	0,85	0.89	**
K/Fe	185126	-0.56	*	Cu/Fe	0,11	0.99	**
K/Mn	1,78	-0.19	NS	Cu/Mn	0,220	0.91	**
K/Zn	746457	-0.72	**	Cu/Zn	0,424	0.97	**
Ca/Mg	3,71	0.67	*	Fe/Mn	2,09	0.91	**
Ca/S	5,32	0.41	NS	Fe/Zn	4,032	0.97	**
Ca/Na	4266	0.98	**	Mn/Zn	1,925	0.81	**

Todos los nutrientes están g.kg<sup>-1</sup> **NS**=no significativo. \* = significativo. \*\* = altamente significativo. r=coeficiente de correlación.

5 MESES							
Expresion		r	Signif.	Expresion		r	Signif.
N/P	6,81	0.44	NS	Ca/B	175634	0.96	**
N/K	0,68	-0.98	**	Ca/Cu	1113555	-0.98	**
N/Ca	1,76	0.55	*	Ca/Fe	7179	0.09	NS
N/Mg	8,72	0.80	**	Ca/Mn	99886	0.99	**
N/S	6,38	0.69	**	Ca/Zn	315732	0.93	**
N/Na	3903	0.31	NS	Mg/S	0,73	0.98	**
N/B	308945	0.75	**	Mg/Na	448	0.81	**
N/Cu	0,00	-0.70	**	Mg/B	35419	0.99	**
N/Fe	12628	0.88	**	Mg/Cu	224561	-0.98	**
N/Mn	175703	0.51	*	Mg/Fe	1448	0.43	NS
N/Zn	555381	0.81	**	Mg/Mn	20143	0.92	**
P/K	0,10	-0.58	*	Mg/Zn	63671	0.99	**
P/Ca	0,26	-0.50	*	S/Na	612	0.90	**
P/Mg	1,28	-0.17	NS	S/B	48411	0.99	**
P/S	0,94	-0.32	NS	S/Cu	306935	-1.00	**
P/Na	573	-0.70	**	S/Fe	1979	0.28	NS
P/B	45338	-0.25	NS	S/Mn	27532	0.97	**
P/Cu	287450	0.32	NS	S/Zn	87027	0.98	**
P/Fe	1853	0.81	**	Na/B	79	0.86	**
P/Mn	25784	-0.53	*	Na/Cu	502	-0.90	**
P/Zn	81502	-0.15	NS	Na/Fe	3,24	-0.15	NS
K/Ca	2,60	-0.40	NS	Na/Mn	45	0.97	**
K/Mg	12,88	-0.69	*	Na/Zn	142	0.80	**
K/S	9,42	-0.57	*	B/Cu	6,34	-0.99	**
K/Na	5762	-0.16	NS	B/Fe	0,04	0.36	NS
K/B	456070	-0.64	*	B/Mn	0,57	0.95	**
K/Cu	2891581	0.57	*	B/Zn	1,80	0.99	**
K/Fe	18641,74	-0.94	**	Cu/Fe	0,01	-0.28	NS
K/Mn	0,19	-0.36	NS	Cu/Mn	0,09	-0.97	**
K/Zn	819863	-0.71	**	Cu/Zn	0,28	-0.98	**
Ca/Mg	4,96	0.93	**	Fe/Mn	13,91	0.05	NS
Ca/S	3,63	0.98	**	Fe/Zn	43,98	0.45	NS
Ca/Na	2219	0.96	**	Mn/Zn	3,161	0.91	**

6 MESES							
Expresion		r	Signif.	Expresion		r	Signif.
N/P	6,54	0.46	NS	Ca/B	334940	0.75	**
N/K	0,82	-0.60	*	Ca/Cu	1338174	0.05	NS
N/Ca	1,79	0.21	NS	Ca/Fe	26516	0.87	**
N/Mg	9,44	0.62	*	Ca/Mn	168435	0.97	**
N/S	10,94	0.86	**	Ca/Zn	382920	0.85	**
N/Na	3030	0.11	NS	Mg/S	1,16	0.87	**
N/B	598619	0.73	**	Mg/Na	321	0.34	NS
N/Cu	0,00	-0.67	*	Mg/B	63437	0.54	*
N/Fe	47391	0.43	NS	Mg/Cu	253445,4	-0.78	**
N/Mn	301033	0.35	NS	Mg/Fe	5022	0.88	**
N/Zn	684369	0.67	*	Mg/Mn	31901	0.53	*
P/K	0,13	-0.73	**	Mg/Zn	72524	0.81	**
P/Ca	0,27	-0.67	*	S/Na	277	0.49	NS
P/Mg	1,44	0.18	NS	S/B	54698	0.85	**
P/S	1,67	0.11	NS	S/Cu	218534	-0.63	*
P/Na	463	0.11	NS	S/Fe	4330	0.82	**
P/B	91571	-0.26	NS	S/Mn	27507	0.69	*
P/Cu	365851	-0.75	**	S/Zn	62534	0.94	**
P/Fe	7249	-0.27	NS	Na/B	198	0.74	**
P/Mn	46049	-0.63	*	Na/Cu	789	0.28	NS
P/Zn	104689	-0.22	NS	Na/Fe	16	0.73	**
K/Ca	2,17	0.05	NS	Na/Mn	99	0.96	**
K/Mg	11,44	-0.79	**	Na/Zn	226	0.75	**
K/S	13,27	-0.59	*	B/Cu	4,00	-0.15	NS
K/Na	3675	0.29	NS	B/Fe	0,08	0.69	*
K/B	725985	-0.10	NS	B/Mn	0,50	0.87	**
K/Cu	2900499	0.99	**	B/Zn	1,14	0.91	**
K/Fe	57474	-0.42	NS	Cu/Fe	0,02	-0.41	NS
K/Mn	0,34	0.73	**	Cu/Mn	0,126	0.05	NS
K/Zn	829981	0.35	NS	Cu/Zn	0,286	-0.38	NS
Ca/Mg	5,28	0.56	*	Fe/Mn	6,35	0.83	**
Ca/S	6,12	0.63	*	Fe/Zn	14,441	0.92	**
Ca/Na	1695	0.96	**	Mn/Zn	2,273	0.89	**

Todos los nutrientes están  $\text{g.kg}^{-1}$  **NS**=no significativo. \* = significativo. \*\* = altamente significativo. r=coeficiente de correlación.

7 MESES							
Expresion	r	Signif.	Expresion	r	Signif.		
N/P	8,17	0.37	NS	Ca/B	239540	0.74	**
N/K	0,77	0.61	*	Ca/Cu	1055733	0.04	NS
N/Ca	2,20	0.63	*	Ca/Fe	15490	-0.39	NS
N/Mg	8,90	0.70	**	Ca/Mn	346091	-0.09	NS
N/S	7,56	0.70	**	Ca/Zn	407804	-0.49	NS
N/Na	11294	0.28	NS	Mg/S	0,85	0.79	**
N/B	525961	0.77	**	Mg/Na	1269	0.34	NS
N/Cu	0,00	0.47	NS	Mg/B	59093	0.55	*
N/Fe	34011	0.43	NS	Mg/Cu	260444	0.42	NS
N/Mn	759917	0.31	NS	Mg/Fe	3821,28	-0.15	NS
N/Zn	895420	0.21	NS	Mg/Mn	85379	0.29	NS
P/K	0,09	-0.22	NS	Mg/Zn	100603	-0.48	NS
P/Ca	0,27	-0.16	NS	S/Na	1494	-0.24	NS
P/Mg	1,09	-0.38	NS	S/B	69567	0.91	**
P/S	0,92	0.18	NS	S/Cu	306606	-0.11	NS
P/Na	1382	-0.43	NS	S/Fe	4499	-0.32	NS
P/B	64346	0.53	*	S/Mn	100512	-0.27	NS
P/Cu	283597	-0.27	NS	S/Zn	118434	-0.26	NS
P/Fe	4161	0.46	NS	Na/B	47	-0.36	NS
P/Mn	92969	-0.35	NS	Na/Cu	205	0.97	**
P/Zn	109546	0.87	**	Na/Fe	3	0.57	*
K/Ca	2,84	0.20	NS	Na/Mn	67	0.99	**
K/Mg	11,52	0.55	*	Na/Zn	79	-0.03	NS
K/S	9,79	0.66	*	B/Cu	4,41	-0.17	NS
K/Na	14622	0.93	**	B/Fe	0,06	-0.05	NS
K/B	680905	-0.00	NS	B/Mn	1,44	-0.34	NS
K/Cu	3000980	0.98	**	B/Zn	1,70	0.14	NS
K/Fe	44031	0.63	*	Cu/Fe	0,01	0.66	*
K/Mn	0,13	0.93	**	Cu/Mn	0,328	0.98	**
K/Zn	1159205	-0.49	NS	Cu/Zn	0,386	0.08	NS
Ca/Mg	4,05	0.92	**	Fe/Mn	22,34	0.65	*
Ca/S	3,44	0.95	**	Fe/Zn	26,327	0.79	**
Ca/Na	5144	-0.04	NS	Mn/Zn	1,178	0.06	NS

Todos los nutrientes están g.kg<sup>-1</sup> **NS**=no significativo. \* = significativo. \*\* = altamente significativo. r=coeficiente de correlación.

## **Anexo E.** Recomendaciones para posteriores investigaciones.

- Efectuar investigaciones con la técnica del elemento faltante, las cuales generen los principales síntomas por deficiencia característicos y visibles de la especie.
- Realizar estudios a base de programas de fertilización para mejorar composiciones químicas de la planta, ya que su valor dependerá en gran medida de la cantidad de sus componentes activos.
- Se corroboraron las concentraciones de sodio entre 1.300 y 16.000 g/Kg, con lo cual, podría llegar a pensar en una alternativa para la recuperación de suelos sódicos, realizando investigaciones en suelos con estas características y, determinando que tanto contribuiría la extracción de este elemento.
- Medir la productividad de la caléndula bajo diferentes condiciones y manejos de fertilizantes, latitudes, lámina de riego, plagas y variedades. Creando información local que brinde respuestas locales y no adaptadas de tecnologías foráneas.
- Continuar realizando investigaciones participativas, las cuales integren a la academia, y los productores, resolviendo y/o generando resultados para las carencias y dificultades que se les presentan a los autores principales de la agricultura.