



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“Diagnóstico nutrimental de gladiolo (*Gladiolus spp.*) en Guerrero, México, Morelos, Michoacán  
y Puebla.”

Tesis

Que para obtener el título de:

Ingeniero Agrícola

Presenta:

Juan Nelson Martínez Rodríguez

Director de la tesis: Dr. Benjamín Zamudio González

Asesor M.C. Margarita Tadeo Robledo

Cuatitlán Izcalli, Estado de México

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A DIOS, por otorgarme la oportunidad en este mundo, porque sin su gracia y majestuosidad cada momento de la vida sería un simple recuerdo.

A México, por todo lo que significa ser parte de un pueblo lleno de fuerza, trabajo, tradiciones, historia, y buenos hermanos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, nuestra casa de estudios por todos los beneficios que desde mi integración como universitario me ha otorgado.

Al Dr. Benjamín Zamudio González que me apoyo en lo necesario, teniendo paciencia y dedicación durante el proceso de desarrollo de esta tesis.

A mi asesora, la M. en C. Margarita Tadeo Robledo por los consejos y por hacer posible los vínculos para trabajar y aprender del doctor Benjamín.

Al apoyo del proyecto CONACYT-SAGARPA-COFUPRO, convocatoria 2005-1 y folio 11982 “Diagnóstico Nutricional de Sistemas de Producción de Ornamentales de Flor de Corte y Follaje”.

## Dedicatorias

A mis padres: Gloria Rodríguez Pérez e Isidoro Martínez Mera, que pese a las adversidades supieron darnos lo necesario a mí y a mis hermanos a costa de sus intereses y diferencias. Los amo.

A mis hermanos Marisol Martínez Rodríguez e Isaac Martínez Rodríguez, por compartir cada momento juntos de una manera única y en algunos casos como enseñanza.

A mi familia: mis primos, que hemos compartido muchas aventuras y juegos juntos, mis tíos y tías que siempre me brindaron buenos consejos, mis abuelos que me han transmitido un poco de su sabiduría.

A mis amigos de siempre, que nunca olvidaré, por nuestra inocencia, la infancia y posteriores cambios que compartimos. Emmanuel y Rolando los recuerdo siempre.

Al grupo 1151 de la generación 2004 que me acogió como persona y formamos un grupo donde compartimos diferencias, cultivamos amistades, cosechamos muchas alegrías y sobrevivimos. Donde estén cuenten conmigo: Berenice, Cesar, Enrique, Rene. Los estimo.

A mis queridos compañeros de la facultad que confiaron en mí y me compartieron mucho, tanto espiritual, intelectual y emocionalmente, Areli, Damian, Jazmin, Reyes Chino. Buena suerte.

A Mónica Yazmín: que perdure en ti el espíritu de lucha, que la paciencia te acompañe y que todo lo que compartamos sea para bien y nos haga mejores personas, sea cual sea nuestro camino no cambia lo que siento. Gracias por apoyarme en este lapso del trayecto de mi vida.

Gracias a todos los que me han apoyado para llegar a concluir este trabajo que marca solo el fin de esta etapa, que pueda retribuirles de alguna forma lo que me han regalado.

Con mucho cariño.

*Juan Nelson Martínez Rodríguez*

# CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS-----	II
ÍNDICE DE FIGURAS -----	V
RESUMEN -----	VI
1. INTRODUCCIÓN-----	1
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL -----</b>	<b>3</b>
1.1.1.OBJETIVOS PARTICULARES-----	3
1.2. HIPÓTESIS-----	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA -----	5
<b>2.1. Diagnóstico Nutrimental-----</b>	<b>5</b>
2.1.2. Análisis de planta-----	5
2.1.3. Análisis Cuantitativos-----	6
2.1.4. Análisis de tejidos -----	6
2.1.5. Análisis de suelo -----	7
<b>2.2. Nutrición vegetal-----</b>	<b>7</b>
2.2.1. Elementos esenciales -----	9
<b>2.3. El suelo, su relación con la planta y la absorción de nutrientes-----</b>	<b>11</b>
2.3.1. Agua Suelo Raíz-----	11
2.3.2. Entrada de agua a las células-----	12
<b>2.4. Absorción mineral-----</b>	<b>12</b>
2.4.1. Mecanismos de absorción mineral-----	13
2.4.2. Factores del suelo que influyen en la absorción de nutrientes por las plantas -----	14
2.4.3. Factores relacionados con la Planta -----	16
2.4.4. Las condiciones climáticas y los factores relacionados con la absorción de nutrientes en la planta --	16
<b>2.5. Elementos y su función en la planta -----</b>	<b>17</b>
2.5.1. Carbono, hidrógeno y oxígeno -----	18
2.5.2. Nitrógeno-----	18
2.5.3. Fósforo-----	19
2.5.4. Potasio -----	21
2.5.5. Calcio -----	22
2.5.6. Magnesio -----	24
2.5.7. Hierro -----	25
2.5.8. Manganeso -----	27
2.5.9. Cobre -----	28
2.5.10. Zinc-----	29
2.5.11. Boro-----	30

<b>2.6. El Gladiolo</b> -----	<b>32</b>
2.6.1. Taxonomía -----	32
2.6.2. Multiplicación -----	32
2.6.3. Necesidades del cultivo-----	33
2.6.4. Cosecha y calidad de espigas de flor de gladiolo -----	33
<b>3. MATERIALES Y METÓDOS</b> -----	<b>34</b>
<b>3.1 Ubicación del área de trabajo</b> -----	<b>34</b>
<b>3.2 Localización de las zonas de estudio</b> -----	<b>34</b>
<b>3.3 Trabajo en campo</b> -----	<b>37</b>
<b>3.4 Análisis Foliar de Laboratorio</b> -----	<b>38</b>
<b>3.5 Análisis de Suelo</b> -----	<b>38</b>
<b>3.6. Análisis Estadístico</b> -----	<b>39</b>
3.6.1. Prueba de T para dos muestras independientes -----	39
3.6.2 Correlaciones-----	40
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> -----	<b>41</b>
<b>4.1 Pruebas de Hipótesis</b> -----	<b>41</b>
<b>4.2 Oferta química de los suelos en cinco estados evaluados del cultivo de gladiolo.</b> -----	<b>47</b>
<b>4.3 Correlaciones.</b> -----	<b>58</b>
<b>4.4 Comportamiento “Continum” de los elementos en hoja:raíz</b> -----	<b>59</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> -----	<b>63</b>
<b>6. LITERATURA CITADA</b> -----	<b>65</b>
<b>7. ANEXOS</b> -----	<b>70</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1 RANGOS TEÓRICOS DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES PARA EL CULTIVO DE GLADIOLO</b> -----	<b>31</b>
<b>CUADRO 2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE PUEBLA.</b> -----	<b>42</b>

CUADRO 3. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE GUERRERO -----	42
CUADRO 4. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE MORELOS -----	43
CUADRO 5. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE MICHOACÁN -----	44
CUADRO 6. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE MÉXICO -----	45
CUADRO 7. IDENTIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MACRO-ELEMENTOS: DENTRO DEL RANGO, DEFICIENTES, O EN EXCESO EN LA ESTRUCTURA FOLIAR DE LOS SITOS ANALIZADOS. -----	45
CUADRO 8. IDENTIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MICRO-ELEMENTOS: DENTRO DEL RANGO, DEFICIENTES, O EN EXCESO EN LA ESTRUCTURA FOLIAR DE LOS SITOS ANALIZADOS. -----	46
CUADRO 9. VALOR PROMEDIO DE PH DE LOS SUELOS CON GLADIOLO PRODUCIDO EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	47
CUADRO 10. RANGOS DE PH Y SU CLASIFICACIÓN PARA DISTINTOS CULTIVOS * -----	47
CUADRO 11. VALOR PROMEDIO DE CE EN LOS SUELOS CON GLADIOLO PRODUCIDO EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	48
CUADRO 12. RANGOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. -----	48
CUADRO 13. CONTENIDO PROMEDIO DE M.O. EN SUELOS CON PRODUCCIÓN DE GLADIOLO EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	49
CUADRO 14. CALIFICACIÓN DEL SUELO, SEGÚN SU CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA. -----	49
CUADRO 15. CONTENIDO PROMEDIO DE NITRÓGENO TOTAL (N.T) EN SUELOS CON GLADIOLO, PRODUCIDO EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	50
CUADRO 16. RANGOS DE VALORES DE NITRÓGENO EN EL SUELO* -----	50

CUADRO 17. CONTENIDO PROMEDIO DE FÓSFORO EN SUELOS DE PREDIOS COMERCIALES CON GLADIOLO, PRODUCIDO EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	51
CUADRO 18. RESUMEN DE RANGOS DE VALORES DE FÓSFORO EN EL SUELO * ---	51
CUADRO 19. CONTENIDO DE POTASIO EN SUELOS DE PREDIOS COMERCIALES CON GLADIOLO, EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	52
CUADRO 20. RESUMEN DE RANGOS DE CONTENIDO DE POTASIO EN EL SUELO * 52	
CUADRO 21. CONTENIDO DE CALCIO EN SUELOS DE PREDIOS COMERCIALES CON GLADIOLO, EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	53
CUADRO 22. RESUMEN DE RANGOS DE CONTENIDO DE CALCIO EN EL SUELO *--	53
CUADRO 23. CONTENIDO DE MAGNESIO EN SUELOS DE PREDIOS COMERCIALES CON GLADIOLO, EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	54
CUADRO 24 RANGOS DE VALORES DE CONTENIDO DE MAGNESIO EN EL SUELO	54
CUADRO 25. CONTENIDO DE SODIO EN SUELOS DE PREDIOS COMERCIALES CON GLADIOLO, EN LOS CINCO ESTADOS DE LA REPÚBLICA -----	55
CUADRO 26. RANGOS DE VALORES DE CONTENIDO DE SODIO EN SUELO-----	55
CUADRO 27. RELACIÓN K/MG Y CA/MG ENCONTRADOS EN EL SUELO CON GLADIOLO EN LOS 5 ESTADOS,-----	56
CUADRO 28. INTERPRETACIÓN DE DIFERENTES RELACIONES ENTRE CATIONES DE CAMBIO. -----	56
CUADRO 29. CORRELACIONES Y EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA ENCONTRADO PARA CADA UNA. -----	58
CUADRO 30. “CONTINUM” RAÍZ-HOJA DE MACRO-ELEMENTOS EN LOS 5 ESTADOS ESTUDIADOS. -----	61
CUADRO 31. “CONTINUM” RAÍZ-HOJA DE MICRO-ELEMENTOS EN LOS 5 ESTADOS ESTUDIADOS -----	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ANTAGONISMOS Y SINERGISMOS PRESENTES ENTRE LOS ELEMENTOS ESENCIALES. (ALARCÓN, 2004).-----15

## **RESUMEN**

En el año del 2004 se cultivaron 364 mil hectáreas de cultivos ornamentales en el mundo y el valor de la producción ascendió a 68,160 millones de dólares; esto es el valor promedio fue de \$187 mil dólares por hectárea. En comparación en México, se cultivaron un poco más de 21 mil hectáreas, y sólo en el Estado de México, primer productor nacional de ornamentales de flor de corte, se cosecharon 5,392 hectáreas con el valor equivalente de la producción estatal de maíz en dicha entidad del orden de \$304 millones de dólares; esto es, el valor promedio fue de \$56 mil dólares por hectárea. La diferencia negativa de México del valor promedio de ornamentales por hectárea en comparación a la del mundo, se explica entre otras causas a una menor calidad de la cosecha.

Por otra parte, la producción de ornamentales en México está orientada a flor de corte como rosa, clavel, crisantemo, gladiolo y gerbera en Valles templados, plantas de follaje en regiones semi-cálidas y tropicales en maceta; así como diversos cultivos como céspedes, arboles de sombra, pinos de navidad, etc. De la producción de ornamentales en México se estima un 90% es de consumo local; y sólo un 10% se exporta, principalmente hacia los E.U. A. como flor de corte.

En el año de 2007 se cultivaron 3,754 hectáreas de gladiolo en México; de las cuales fueron: 1,073 en Puebla, 971 en el Estado de México, 876 en Morelos, 491 en Michoacán, 232 en Guerrero y 110 en Veracruz. La espiga de flor de gladiolo mantiene su importancia en el mercado desde décadas por demanda de fiestas locales y sociales entre las cuales se destacan las fechas de febrero 14, mayo 10, noviembre 02 y 12 diciembre.

La calidad de la cosecha de ornamentales, como la flor de corte del gladiolo, depende principalmente de la genética del cultivo y el sistema de producción. Si bien, la pureza varietal y la semilla vegetativa libre de plagas y enfermedades es pre-requisito para obtener flor de calidad, se juzga del manejo la preparación física del suelo y su régimen de humedad como la nutrición del cultivo son fundamentales para aspirar a cosechas de alta calidad, para alcanzar altos precios en su venta al mercado nacional e internacional.

En este trabajo se planteó llevar a cabo un diagnóstico nutrimental del complejo suelo y tejidos vegetales de gladiolo en las principales regiones productoras de gladiolo en México para coadyuvar a la tecnología disponible para obtener flor de gladiolo de calidad. Para tal objetivo se hizo una colecta de muestras de suelo y tejidos de gladiolo en cinco estados de México. En laboratorio se determinaron los contenidos químicos por medio de técnicas normalizadas en suelos, tejidos de raíz y de hoja; de las cuales se obtuvieron valores de las condiciones nutrimentales de macro y micro elementos.

Una vez ordenados los datos se realizó el análisis estadístico realizando pruebas de hipótesis para los conjuntos de datos por cada lugar. Se categorizaron por nutrimento con la decisión de dentro o fuera de los “rangos de suficiencia”: *normales*, *deficientes* y *en exceso*, según criterios publicados en la literatura especializada de ornamentales.

Las pruebas de hipótesis indicaron graves problemas de desbalances nutrimentales en gladiolo en los sitios evaluados, tanto en suelos como en tejidos vegetales; con lo que se percibe falta de asistencia técnica, y en algunos casos la producción es empírica por parte de los productores.

## 1. INTRODUCCIÓN

La floricultura tiene una creciente importancia en México, desde la generación de empleos, entrada de divisas, la competencia y posicionamiento en los mercados externos, hasta la existencia de un gran número de especies que tienen potencial en la floricultura y en general como plantas de ornato trátense de follaje o para flor, reproducidas por bulbo o por semilla, sean de corte o de macetería.

Pese al potencial productivo que tiene México como productor de flores, éste no ha sido aprovechado al máximo, y su participación en los mercados internacionales es relativamente baja. (Claridades Agropecuarias, 2006)

En tanto las flores como ornamentales presentan condiciones particulares que obedecen a las demandas del mercado, local o mundial así como la oferta de nuevas variedades y las preferencias de los consumidores, “El consumo de flores depende del nivel de ingreso de la población, los países con altos niveles de ingreso tienden a demandar una mayor cantidad de flores, pero no solo eso, sino que sus exigencias son mayores en cuestión de calidad, de innovación, etc.” (Claridades Agropecuarias, 2006)

Es claro que la producción de cualquier cultivo es consecuencia de la acción sinérgica de innumerables factores que interactúan a través del tiempo y del espacio, dando como consecuencia unos malos o buenos rendimientos, con alta o baja calidad de los productos cosechados (Alarcón, 2004). Tratándose de flores de corte la calidad es sinónimo de belleza y perfección en el ejemplar de la especie de la que se trate, la cual tiene relación directa con las condiciones ambientales en la que se encuentran expuestas a cultivo, así como las prácticas culturales que se realizan durante la estadía, como son: la preparación del terreno o sustrato, el establecimiento del cultivo, riegos manejo de plagas y enfermedades. Pero un aspecto esencial es la administración de una nutrición adecuada, de tal forma que, la elección de un apropiado paquete tecnológico, adecuado a la zona y a las condiciones en donde se establezca el cultivo, es de suma importancia.

Este trabajo tiene relación con la nutrición vegetal que representa una fuerte inversión en insumos, infraestructura y mano de obra, y de la cual se puede obtener mayor producción y mejor calidad. La nutrición de un cultivo es particular para cada especie y esta puede cambiar de acuerdo al sistema que se maneje, el suelo o las condiciones del sustrato, e incluso de la tecnología. Hay que tener en cuenta que una planta cuya cosecha es la flor sufre menos deterioro vital; ya que primero, se ahorra la enorme inversión de energía que hace falta para el desarrollo del fruto; y segundo, los procesos fisiológicos y hormonales implicados en la maduración de los frutos y su posterior abscisión va dañando algunas funciones de la planta, envejeciéndola. Este tipo de desórdenes no suele afectar a los cultivos ornamentales, ya que no se desarrolla la fructificación. (Posadas, 2004).

Para observar las condiciones nutrimentales de un cultivo se deben realizar análisis de plantas, que tienen un gran número de aplicaciones, como la determinación de las condiciones nutrimentales de la planta que se estudia, así como posibles efectos de los fertilizantes que se aplican a las soluciones nutritivas o directamente al suelo donde está establecido el cultivo. Los principales factores nutrimentales que han resultado válidos para la elaboración de un diagnóstico nutrimental han sido del suelo: la concentración de sales o conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, pH; y de la planta las concentraciones químicas de los elementos esenciales.

La nutrición vegetal ha sido una tarea relevante en la mejora de los sistemas de producción existentes de los cultivos importantes para el hombre, actualmente la mayoría de trabajos se concentran en evaluar distintas dosis de fertilización y el comportamiento de las plantas.

Esto ha generado la necesidad de realizar análisis foliares y de suelo por sitio el cual hace necesario el conocimiento de las características del sitio que se estudia en este caso el suelo o sustrato donde se desarrolla la planta y las condiciones a las que está sometida.

Es por eso que la calidad representa un punto clave en la producción de cualquier sistema, y uno de los aspectos que se deben cuidar es la nutrición de la especie, con lo que se puede lograr un mayor vigor, respuesta favorable a condiciones climáticas, expresión de las características genéticas de la especie o variedad, en resumen mayor certeza en las expectativas de inversión.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar el estado nutrimental del gladiolo en zonas productoras en los estados de Guerrero, México, Michoacán, Morelos y Puebla; mediante el análisis químico de muestras de suelos y tejidos vegetales.

### ***1.1.1. OBJETIVOS PARTICULARES***

- 1.- Contrastar las medias de los contenidos químicos en tejidos vegetales contra los rangos de suficiencia teóricos y calculados estadísticamente al considerar la variabilidad de la colecta de muestras por sitios.
- 2.- Valorar la oferta química y las condiciones del suelo contra los contenidos nutrimentales en tejidos de raíces y hojas de gladiolo.
- 3.- Generar por sitio productor, principios de enmienda de suelo y medidas correctivas de nutrición del gladiolo.

## ***1.2. HIPÓTESIS***

Existe desbalance nutrimental de N, P, K Ca, Mg, B, Mn, Fe, Cu, Zn; en los sistemas de producción de gladiolo: entidades, sitios/entidad y planta.

## **SUPUESTOS**

La presente investigación parte de los siguientes supuestos:

- 1.- La metodología de colecta de muestras en cuanto a la ubicación y número está apegada principios de la Teoría Estadística.

2.- Las rutinas de preparación de las muestras de suelo y tejidos vegetales, así como las técnicas normalizadas de análisis de laboratorio aprobadas por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo son apropiadas.

3.- Los procedimientos y modelos de análisis estadísticos permiten diferenciar y asociar confiablemente conjuntos de datos de los contenidos y otras variables de estudio.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Diagnóstico Nutricional**

Para una planta puede ser que solo un nutriente presente deficiencia o exceso, pero también es posible que más de un nutriente se encuentre fuera de su rango de suficiencia. El requerimiento real para un nutrimento puede variar si otros nutrientes no están presentes según las concentraciones críticas debido a sinergismos y antagonismos que existen entre los elementos y la sustitución que puede hacer un elemento por otro en sus funciones. Por esta razón es necesario valorar las concentraciones de un nutriente en relación con otros dentro de la planta.

Los análisis nutrimentales como principal componente de un diagnóstico nutricional han sido usados para investigar las relaciones entre las concentraciones internas de nutrientes, tomando en cuenta el crecimiento de la planta.

El diagnóstico nutricional es posible desde las observaciones visuales del cultivo con síntomas de amarillamientos-necrosis-malformaciones, etc. En hojas nueva o maduras; por comparación de contenidos químicos contra rangos de suficiencia científicamente obtenidos por especies en condiciones óptimas, o bien con base al manejo estadístico de numerosos datos de concentración química en tejidos de un cultivo en una determinada región por medio del sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS por sus siglas en inglés), que comparan rangos de concentraciones de los elementos en todas las fases fenológicas, para establecer los valores que ayuden a identificar nutrientes que parezcan deficientes(Walworth *et al.*, 1991).

#### **2.1.2. Análisis de planta**

Los análisis de plantas como medio para entender la fisiología quizá comenzó con Nicolas-Théodore de Sussure que demostró que las plantas absorben los nutrientes del suelo, así como también demostró que las plantas absorben minerales en proporciones que difieren de las que

existen en el suelo y que las absorben en solución si las sustancias son benéficas o no (Baker y Pilbeam, 2007).

Los análisis de plantas fueron usados como medios por los científicos en el siglo diecinueve para determinar la esencialidad de un elemento químico como nutriente de planta. Futuras refinaciones y aplicaciones en los análisis de plantas permitieron estudios de la relación entre el crecimiento del cultivo o la producción y la concentración de los nutrientes en las plantas. Un análisis de hojas es frecuentemente usado como base para recomendar una dosis de fertilización para un cultivo. (Baker y Pilbeam, 2007).

Las plantas pueden ser probadas en suficiencia nutrimental por pruebas analíticas, empleando análisis cuantitativos (total o de componentes específicos) en laboratorios, por pruebas de tejido (pruebas semi-cuantitativas) a menudo aplicadas en campo. Con los medios apropiados de separación de constituyentes las pruebas cuantitativas pueden medir la cantidad de nutrientes que se han incorporado en la estructura de la planta o que están presentes como constituyentes solubles en la savia de la planta. Las pruebas con tejidos generalmente trabajan con componentes solubles. (Baker y Pilbeam, 2007).

### ***2.1.3. Análisis Cuantitativos***

Los análisis cuantitativos de plantas tienen un gran número de funciones en la evaluación de las condiciones nutrimentales de la planta, entre las cuales se pueden mencionar que se puede usar para confirmar diagnósticos visuales, así como identificar las llamadas hambres escondidas o deficiencias incipientes, estas últimas son realizadas mediante el uso de los resultados de los análisis de laboratorio y valores críticos o rangos críticos que evalúan el estado nutricional como deficiente, bajo, suficiente, normal o exceso, o con otros términos aplicables (Baker y Pilbeam, 2007).

### ***2.1.4. Análisis de tejidos***

El análisis de tejidos de planta es una técnica para determinar de forma rápida el estado nutrimental de un cultivo y su conducta que presenta en el sitio de establecimiento. Estas pruebas de tejido vegetal en etapas establecidas (habitualmente de la última hoja desarrollada), generalmente evalúan el estado nutrimental por mediciones directas de los nutrientes en cuestión en la planta.

### ***2.1.5. Análisis de suelo***

Un análisis de suelo puede ser químico o físico, midiendo las propiedades del suelo basados en una muestra. Comúnmente un análisis de suelo es considerado como una prueba rápida para generar evaluaciones de la facilidad de extracción de nutrientes o elementos químicos del suelo. La interpretación de estos análisis generan estimaciones o simulan la cantidad de nutrientes disponibles, que las plantas pueden absorber del suelo (correlación y calibración).

Recomendaciones de fertilización pueden ser basadas en los análisis de suelos, los análisis químicos de suelos también miden salinidad, pH y presencia de elementos que pueden inhibir el crecimiento de la planta como metales pesados.

## **2.2. Nutrición vegetal**

Desde la antigüedad el hombre se ha interesado por la respuesta de las plantas al ambiente, y ha llegado a la conclusión de que sus esfuerzos deben concentrarse en la generación de las condiciones necesarias para asegurar el crecimiento y desarrollo normales de las plantas, como medio para lograr, además de elevados rendimientos en la producción agrícola, el mejoramiento de la calidad en sus cosechas. Los consumidores actuales no solo requieren de una amplia variedad de productos vegetales, sino que exigen, además, que dichos productos se obtengan siguiendo normas de calidad cada vez más estrictas.

La producción de cultivos, un proceso directamente relacionado con el crecimiento; es una función del suelo, el clima, y principalmente el manejo. La manera cómo estos factores influyen en la producción es a través de mecanismos muy diversos. Dado que los procesos involucrados en el crecimiento son numerosos, así también, son muchos los factores mediante los cuales son

influenciados y controlados los distintos procesos. Como factores del crecimiento se consideran a todos aquellos agentes físicos, químicos y bióticos que pueden influenciar el crecimiento de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha.

De todos los factores que influyen sobre el crecimiento y producción de las plantas cultivadas, la nutrición vegetal, sin lugar a dudas, es uno de los que pueden ser más determinantes. Esta disciplina de la fisiología vegetal y de la ciencia del suelo se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción, transporte y asimilación de nutrimentos por las plantas superiores, así como de los factores que los afectan y su relación con la producción y calidad de las cosechas.

La nutrición vegetal, nutrición de cultivos o nutrición mineral, nombres con los que se conoce la disciplina, ha de dar respuesta a una serie de interrogantes que frecuentemente se plantean en relación a los requerimientos nutricionales de las distintas especies de interés agrícola, como; ¿cuáles nutrimentos son limitantes en distintos agro sistemas?, ¿en qué cantidad?, ¿en qué forma química?, ¿en qué estado fenológico?, ¿cómo se absorben y transportan?, ¿cómo afectan la producción y la calidad?. Cuando se disponga de la información para responder a esas preguntas, se estará en posición ventajosa para tomar decisiones acerca del manejo nutricional de cada cultivo en particular, con una alta probabilidad de éxito.

Toda especie vegetal necesita una serie de elementos nutritivos para poder llevar a cabo su completo desarrollo. Dichos elementos al ser absorbidos, independientemente de cumplir con su función en la planta, pueden ser almacenados; si estos se encuentran en concentraciones elevadas pueden conducir a una toxicidad para la planta. En contraparte, la insuficiencia de un elemento esencial puede provocar síntomas de deficiencia característicos (Salisbury, 1994). Debido a estos síntomas, se pueden determinar las funciones vitales de los elementos dentro de la planta, existiendo patrones similares entre algunas especies vegetales debido a uno o más nutrientes, aunque también se comportan diferentes muchos de ellos, pudiéndose presentar en cualquier etapa del ciclo de vida de ésta. Es necesario mencionar que los síntomas de deficiencia para cualquier elemento dependen de dos factores: la función o funciones que realiza el elemento en el vegetal y la movilidad del elemento dentro de la planta (Salisbury, 1994).

Una temprana detección y correcta interpretación de los síntomas característicos de deficiencia o exceso, permitirán determinar cuál es el elemento en conflicto (Graetz, 1997), y así poder planear adecuadamente las acciones de corrección. Los síntomas de deficiencia suelen manifestarse en forma de disminución del crecimiento en raíces, tallos y hojas, de una clorosis y/o necrosis, ya sea venal, intervenal o marginal en los diferentes órganos, principalmente en las hojas, así mismo bajas tasas fotosintéticas y finalmente disminución en calidad y rendimiento. Por otro lado, los síntomas de exceso se manifiestan como amarillamientos, necrosis, disminución de crecimiento e incluso muerte de algunos órganos, pero con frecuencia los excesos de algún elemento provocan deficiencias de otro, fenómeno dado por las relaciones iónicas de antagonismos existentes entre ciertos elementos como por ejemplo Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, P/Zn, entre otros (Ver figura 1).

Los nutrientes aprovechables por las plantas pueden estar en cantidades suficientes en el suelo, pero su utilización puede ser deficiente si las condiciones físicas y químicas son desfavorables, no permitiendo su disponibilidad (Villanueva y Ortiz, 1990), con esto nos referimos al estado ácido-base del suelo medido a través del pH, el cual es de gran importancia y decisivo en la nutrición vegetal.

### ***2.2.1. Elementos esenciales***

Para el crecimiento normal de las plantas, en la actualidad se consideran a 17 elementos como esenciales, incluyendo al carbono, oxígeno e hidrógeno (Alcántar y Trejo, 2007). De acuerdo con Amon y Stout (1939), citados por Alcántar y Trejo (2007), para que un elemento sea considerado como esencial debe satisfacer ciertos requisitos, los cuales son:

- Con la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y ésta es incapaz de completar su ciclo vital.

- Los síntomas de deficiencia deben ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente, o sea que el elemento en cuestión no puede ser sustituido o reemplazado totalmente por ningún otro elemento.
- Las funciones o su influencia sobre el metabolismo deben ser conocidas.
- El elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta, lo cual significa que no debe actuar a través de variaciones en el sustrato.

Con base a estos criterios, los elementos considerados indispensables para las plantas superiores en la actualidad son: C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl y Ni

Con base en las cantidades relativas encontradas dentro de los tejidos vegetales, estos elementos se clasifican en macro-nutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg junto con H, C y O) y micro-nutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo), con concentraciones de más de 1000 mg kg<sup>-1</sup> (ppm) y menos de 500 mg kg<sup>-1</sup> (ppm) respectivamente (Alcántar y Trejo, 2007).

Debido a que los términos macro-nutriente y micro-nutriente no tienen ninguna implicación cualitativa, algunos investigadores argumentan que esta clasificación es difícil de justificar en términos fisiológicos, Menge y Kirkby(1987), citados por Alarcón(2004), propusieron que los elementos esenciales deberían clasificarse en función del papel bioquímico y fisiológico que éstos desempeñan dentro de las plantas.

Si el suministro de un elemento esencial es inadecuado, puede provocar desordenes nutricionales que conducen a alteraciones estructurales y ultra-estructurales relacionadas con la función que desempeña este elemento en la planta, alteraciones que finalmente se reflejan en síntomas visibles característicos, denominados síntomas de deficiencia (Alarcón, 2004; Salisbury, 1994). Aquí es importante destacar que, cuando se habla de síntomas de deficiencia de un elemento esencial, hay que tener en cuenta la extensión en la cual ese elemento puede ser reciclado de las hojas adultas a las jóvenes. Algunos elementos, como nitrógeno, fósforo y potasio, pueden movilizarse fácilmente; otros, como el boro, hierro, y calcio, son relativamente inmóviles. Si un

elemento esencial es móvil, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas adultas y los síntomas de deficiencia de un elemento inmóvil se detectarán primero en las hojas jóvenes. Aunque el mecanismo exacto de la movilización de los nutrientes no se conoce con exactitud, se sabe que las citoquininas podrían estar implicadas en dicha movilización (Alarcón, 2004; Alcántar y Trejo, 2007 y Salisbury, 1994).

El desarrollo normal de las plantas también puede verse severamente alterado cuando, la concentración de elementos, esenciales o no, en estado asimilable en la disolución en contacto con las raíces, excede de cierto nivel. Algunos, como silicio, no son tóxicos, otros como arsénico o cromo lo son aún a mínimas concentraciones. En cuanto a elementos esenciales, en general, los macro-nutrientes son mucho menos tóxicos que los micro-nutrientes. Un ejemplo claro, el potasio puede ser absorbido y almacenado por la planta sin que aparezcan alteraciones, ni tampoco mejoras, en su desarrollo o producción, fenómeno comúnmente llamado "consumo de lujo" (Alarcón, 2004). Para los micro-nutrientes, los márgenes entre nivel óptimo y toxicidad están muy cercanos, y para algunos, como ocurre con el boro, un pequeño exceso puede originar grandes alteraciones. Los efectos tóxicos dependen del grado de sensibilidad que presente la planta y puede variar notablemente de una especie a otra, e incluso entre variedades de una misma especie. Además, la reducción del crecimiento que supone la toxicidad puede ser debida a un efecto adverso directo del elemento mineral, o a la interferencia en otros procesos como la absorción de agua o de nutrientes (Alarcón, 2004 y Alcántar y Trejo, 2007).

### **2.3. El suelo, su relación con la planta y la absorción de nutrientes**

Como medio de crecimiento de las plantas, el suelo puede describirse como un material natural complejo proveniente de rocas y materiales orgánicos descompuestos y desintegrados, que proporcionan nutrimentos, humedad y soporte para las plantas terrestres. Los cuatro componentes principales del suelo son los materiales minerales, la materia orgánica, el agua y el aire. Estos se combinan en cantidades bastante variables en los diferentes tipos de suelos y a diferentes niveles de humedad (California Fertilizer Association, 2007).

#### **2. 3.1. Agua Suelo Raíz**

La mayoría de las plantas terrestres necesitan sistemas eficientes para absorber y movilizar agua. La entrada de nutrientes en la raíz es el inicio de la nutrición de la planta, si se insertará un manómetro a un tallo seccionado desde la parte baja del tallo y se riegan las raíces, el tallo exuda y, puede demostrarse que el agua sube con una presión medible que ocasionalmente puede alcanzar hasta 2-3 bars (30-40 psi). A este fenómeno se denomina presión radical. La importancia de la presión radical consiste en que suministra un mecanismo para llenar con agua los vasos de xilema de la planta, y con esto el inicio de la transporte de nutrientes(California Fertilizer Association, 2007).

### ***2.3.2. Entrada de agua a las células***

El agua entra a las células por ósmosis, es decir, por movimiento a favor de un gradiente de potencial. El concepto de absorción “activa” del agua, es decir la transferencia de moléculas de agua a través de una membrana en contra de un gradiente de potencial o a una tasa acelerada. Ciertos experimentos sugieren que el gasto de energía respiratoria puede ser necesario para la absorción del agua y esta se anticipó como evidencia de un proceso activo de absorción. Sin embargo parece probable que la necesidad de energía respiratoria es indirecta y resulta de los siguientes hechos:

- La absorción del agua requiere tejido viviente activo para mantener la organización de la estructura celular y sub-celular.
- La energía se necesita para transportar solutos de célula a célula para crear los gradientes de potencial osmótico que movilicen el agua.

En consecuencia el movimiento activo del agua se define mejor como el resultado de transporte de solutos con requerimientos de energía que origina la ósmosis.

## **2.4. Absorción mineral**

La absorción de los elementos nutritivos se efectúa por medio de los pelos radicales, que, durante el período de actividad de la planta, están continuamente renovándose, ya que su vida es muy corta, tan sólo de varios días. En condiciones normales pueden alcanzar una cifra de 200-300 por mm, lo que representa una gran superficie de captación de nutrientes. La suberificación del tejido vegetal restringe la absorción mineral, por tanto, la absorción por unidad de longitud es máxima

en las zonas más jóvenes de la raíz y disminuye hacia las zonas más basales (Alarcón, 2004 y Salisbury, 1994).

Aparte de la función absorbente, los pelos radicales segregan sustancias de carácter ácido que les permite solubilizar sustancias difícilmente solubles situadas en sus inmediaciones, tales como fosfatos, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, etc. Esta acción solubilizante, en la que también participa el CO<sub>2</sub> originado en la respiración radical, contribuye a aumentar las posibilidades de nutrición de la planta (Salisbury, 1994).

Se puede decir que un elemento es asimilable cuando se encuentra en estado soluble en la disolución del suelo, o cuando está adsorbido a la superficie del complejo coloidal. Y es no asimilable o inasimilable cuando es inmóvil y se encuentra incorporado, por ejemplo, a una molécula sólida, mineral u orgánica (Alarcón, 2004 y Salisbury, 1994).

#### ***2.4.1. Mecanismos de absorción mineral***

Las plantas deben recibir la mayor parte de los nutrientes minerales a través de la solución acuosa, disueltos en ella. Los mecanismos de absorción de nutrientes minerales que tiene la planta son tres:

- *Intercepción por las raíces:* las raíces en crecimiento entran en contacto con los nutrientes disponibles. Este mecanismo presenta una contribución muy pequeña en un suelo natural, pero al aumentar mucho con la densidad de raíces, puede ser un mecanismo predominante en los cultivos en sustrato.
- *Flujo de masas:* consiste en el movimiento de los nutrientes hasta la superficie de las raíces. Se produce cuando se desplaza la disolución acuosa para reemplazar la cantidad de agua absorbida por las raíces.
- *Difusión:* se produce sin movimiento de agua, cuando la concentración de un nutriente en la superficie de las raíces es menor que en la disolución acuosa del medio de cultivo, en el seno de ésta, los iones se desplazan hacia los puntos de baja concentración hasta

alcanzar un equilibrio. En el caso de fósforo y potasio, este mecanismo es el predominante en suelos naturales, debido a la baja concentración que alcanzan en la disolución del suelo (Alarcón, 2004).

#### ***2. 4.2. Factores del suelo que influyen en la absorción de nutrientes por las plantas***

Estos son de carácter físico y químico. Son:

- *Textura:* los suelos de textura fina presentan mayores posibilidades de contacto con los pelos absorbentes y también mayor facilidad de actuación de los agentes de alteración que promueven la liberación de nutrientes asimilables.
- *Porcentaje de O<sub>2</sub>:* la absorción mineral queda inhibida por la ausencia de O<sub>2</sub>.
- *pH:* La reacción del suelo (ácido, neutro o alcalino) se refiere a la concentración de los iones hidrógeno (H<sup>+</sup>) e Hidroxilo (OH<sup>-</sup>) en la solución del suelo. La reacción del suelo es importante en vista de que influye en la solubilidad de iones tóxicos y la actividad microbiana. (California Plant Health Association, 2008). Además, la reacción del suelo afecta a la absorción por su influencia sobre el estado de asimilación del nutriente o la cantidad disponible del mismo. A determinados valores de pH, muy ácidos o muy básicos, el elemento puede formar compuestos insolubles como hidróxidos y/o carbonatos. Al hacer las mediciones de pH de un sustrato se deben tomar en cuenta diversos factores que determinan las variaciones en la medida del pH.
- *La relación suelo-agua.* A medida que se diluye la suspensión del suelo el pH aumenta, este fenómeno se conoce como efecto de disolución.
- *La concentración del electrolito.* Cuando la concentración de sales neutras aumenta en la suspensión del suelo, el pH disminuye. A este efecto se le llama efecto de sales solubles.
- *Capacidad de intercambio catiónico:* La capacidad de intercambio catiónico (CIC) mide la cantidad de cationes que pueden ser adsorbidos o retenidos por un suelo. Los suelos que poseen una CIC alta tienden a ser más fértiles que los que poseen una CIC baja, ya que la probabilidad de que los nutrientes se pierdan por lixiviación es baja, siendo el suelo capaz de almacenar y suministrar nutrientes con mayor facilidad (California Plant Health Association, 2008).

- *Materia Orgánica:* La materia orgánica es uno de los principales componentes de la productividad y fertilidad de los suelos y repercute positivamente en la absorción de nutrientes de la plantas ya que ayuda a reforzar los agregados del suelo, mejora la aireación e infiltración de agua, proporciona mayor capacidad de intercambio catiónico, tiene efecto buffer entre otras, por lo que a mayor cantidad de materia orgánica mayor será la absorción de nutrientes. (California Plant Health Association, 2008).
- *Interacciones iónicas:* se trata de antagonismos y sinergismos existentes entre los diferentes elementos esenciales.
  - ❖ Antagonismo: cuando el aumento en la concentración de un elemento reduce la absorción de otro. Cuando los iones fijados al complejo coloidal guardan una adecuada proporción, estos antagonismos no suelen presentarse (Figura 1).
  - ❖ Sinergismo: cuando el aumento en la concentración de un elemento favorece la absorción de otro. También puede darse el caso de existir "sinergismos negativos", donde la carencia de un determinado elemento propicia la deficiencia de otro (Figura1) (Alarcón, 2004).

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	K <sup>+</sup>	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Cl	Na
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			Green, Yellow	Green, Yellow	Green	Green, Yellow	Green, Yellow			Yellow	Yellow	Yellow	Green	Red	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			Green	Red	Red	Yellow	Green			Yellow				Green	Yellow
P					Red	Yellow	Green	Red		Red	Red	Yellow	Green	Green	Green
K <sup>+</sup>					Red	Red		Green, Yellow	Green			Yellow	Green		Red, Green
Ca						Red		Red	Yellow	Red	Yellow	Red, Blue		Green	Red
Mg									Yellow	Yellow		Green			Yellow
S													Red		
Fe									Red	Red	Red		Yellow		Yellow
Mn										Yellow	Yellow		Yellow		
Zn											Red				
Cu													Red		

Antagonismo fuerte ■

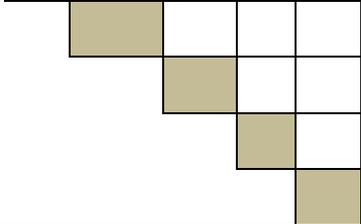
B	Antagonismo débil					
Mo	Sinergismo					
Cl	Sinergismo negativo					
Na						

Figura 1. Antagonismos y sinergismos presentes entre los elementos esenciales.(Alarcón, 2004).

### 2.4.3. Factores relacionados con la Planta

- *Naturaleza de la planta:* plantas distintas en un mismo suelo, pueden tener una nutrición mineral diferente, tanto cuantitativa como cualitativamente, incluso variedades de una misma especie pueden actuar de modos notablemente diferentes, debido a los mecanismos biológicos, fisiológicos y metabólicos que han desarrollado las plantas genéticamente por especie o variedad.
- *Estado fenológico:* las plantas jóvenes absorben más rápida e intensamente los elementos minerales, para ir disminuyendo esta absorción paulatinamente conforme avanza el desarrollo de la planta (Alarcón, 2004).

### 2.4.4. Las condiciones climáticas y los factores relacionados con la absorción de nutrientes en la planta

- *Temperatura:* dentro de los límites fisiológicos 0-40°C, un aumento de la temperatura provoca una mayor absorción de iones.
- *Humedad:* de forma general, la absorción mineral se incrementa al aumentar, dentro de unos límites, la humedad del suelo. El agua es necesaria para la producción de azúcares, para mantener la hidratación del protoplasma y como vehículo para el traslado de nutrientes absorbidos por la raíz.

- *Luz*: la luz ejerce sobre la nutrición mineral un efecto indirecto, el incremento de la iluminación produce un aumento de las reservas carbonatadas y de la transpiración, por lo que la absorción mineral tiende a intensificarse (Alarcón 2004).

La energía de las reacciones químicas se describen en términos de kilocalorías por mol de los compuestos ( $1 \text{ mol} = 6.02 \times 10^{23}$  moléculas), su color se determina por la longitud de onda, la proporción de luz utilizable en la fotosíntesis se ha establecido en proporción de 8 a 12 quantas para reducir una molécula de  $\text{CO}_2$  y producir una molécula de  $\text{O}_2$  (Bidewell, 2002).

## **2.5. Elementos y su función en la planta**

Los nutrimentos y otros compuestos se presentan en un estado dinámico en el suelo, se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías, y la fertilidad de un suelo depende de las tasas relativas de adición y remoción de sustancias nutrimentales. Además los elementos pueden retenerse con más o menos firmeza en el suelo, por enlaces físicos y químicos, así pues, la fertilidad puede afectarse también por la facilidad o dificultad con que los nutrimentos se absorben por la raíz, así como su tendencia a permanecer o ser lavados del suelo por la lluvia o el movimiento de agua subterránea. Los iones disueltos en la fase suelo-agua están libremente disponibles para las raíces; los que están vinculados a partículas del suelo, sólo están disponibles conforme entran en solución; de manera que la fertilidad de un suelo depende de la concentración de nutrimentos en solución, no de los elementos nutritivos que contenga.

Puesto que las partículas de suelo se intemperizan y rompen continuamente, su composición y tasa de degradación afecta a la fertilidad del suelo. Otros factores que afectan la cantidad y disponibilidad de nutrientes son pH, contenido de oxígeno y capacidad de intercambio iónico del suelo, este factor depende de la naturaleza del mineral y fragmentos de roca de los cuales está formado el suelo y más específicamente del tamaño de la partícula. Un fino suelo arcilloso

contiene micelas con una enorme área superficial. Puesto que las superficies de los coloides generalmente están cargadas, pueden retener grandes cantidades de iones.

La presencia de microorganismos en el suelo afecta fuertemente su fertilidad. Los microorganismos pueden ser nocivos a competir con las plantas por iones que se presentan en bajas concentraciones, porque muchos de estos iones llegan a estar disponibles de forma orgánica, asimismo pueden afectar el intercambio iónico cambiando el pH del suelo, de modo que algunos elementos pueden estar más disponibles para las plantas, aumentando el crecimiento de las plantas al incrementar la disponibilidad de hierro, boro o molibdeno por ejemplo (Bidwell, 2002).

### ***2.5.1. Carbono, hidrógeno y oxígeno***

Aproximadamente, el 90- 95% de la materia seca de las plantas superiores está formada por estos tres elementos cuya proporción relativa es similar a la de los carbohidratos. Esto significa que los hidratos de carbono son los principales depositarios de la energía fotosintetizada y comprende: 1) azúcares simples y sus conjugados activos en el metabolismo intermediarios; 2) compuestos de reserva: almidón, sacarosa, fructuosa, etc.; y 3) polisacáridos estructurales de las paredes celulares: principalmente celulosa, hemicelulosa y pectinas. Asociados también con los polisacáridos estructurales hay compuestos fenólicos entre los que se encuentra la lignina (Wild, 1988).

### ***2.5.2. Nitrógeno***

Factores que afectan la absorción del nitrógeno. Debido a que normalmente el nitrógeno es utilizado en mayores cantidades con respecto a los otros nutrimentos; la forma amonio o nitrato de suministro de nitrógeno tiene una influencia considerable en su absorción (Haynes, 1986). Aunque las tasas de absorción de amonio no son afectados por la presencia o ausencia de nitratos, la presencia de amonio si restringe o reduce la absorción de nitratos, lo que implica una preferencia por el amonio como fuente de N. Este hecho es más notable cuando la temperatura

de la raíces es más baja que la del ambiente. Algunos autores sugieren que este efecto de inhibición se debe a que los niveles citoplasmáticos del amonio inhiben el mecanismo de absorción de los nitratos en la raíz. Otros autores creen que el producto final de aminoácidos con la nutrición con amonio es lo que inhibe la absorción de nitratos (Haynes, 1986).

- *Deficiencia de N.* Los síntomas de deficiencia de N aparecen en las hojas adultas. Bajo poca disponibilidad de N las plantas detienen su crecimiento y son débiles. Las hojas son pequeñas, el color del follaje es de verde claro a amarillo y las hojas viejas caen prematuramente. La necrosis de hojas o parte de éstas ocurre en etapas tardías con severas deficiencias de N. El crecimiento de las raíces se reduce y su ramificación se restringe, de tal manera que la relación vástago/raíz se incrementa. El rendimiento y su calidad se reducen significativamente (Mills y Jones, 1996).
- *Toxicidad de N.* Las plantas pueden tolerar excesos de nitratos mucho más que el exceso de amonio. Los niveles de éste último pueden ser tóxicos para las plantas si éstos no son incorporados en los compuestos carbonados que contienen N después de la absorción. El amonio puede restringir la absorción de K por la competencia en los sitios de intercambio en la raíz. Cuando el amonio es la forma dominante de N disponible para la absorción vegetal, una condición de toxicidad puede presentarse. La toxicidad de los iones amonio se caracteriza por un crecimiento de raíces restringido, las cuales son descoloridas y resultan en un colapso del tejido vascular, se restringe al mismo tiempo la absorción de agua. Los síntomas foliares pueden incluir clorosis y necrosis en la hoja, epinastia (curvatura de las hojas hacia abajo) y lesiones de los tallos (Mills y Jones, 1996).

### **2.5.3. Fósforo**

En el suelo el fósforo se encuentra presente en forma de apatita  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ . Las diversas formas de apatitas son llamadas con frecuencia roca fosfórica. El P en el suelo puede ser clasificado como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que estos ocurran. La fracción orgánica es encontrada en el humus y materiales orgánicos. En suelo varían enormemente en rangos de prácticamente a niveles de 0 y encima del 2% (Tisdale *et al.*, 1993).

Fósforo orgánico. El P orgánico representa alrededor de 50% del fósforo total en los suelos y varía entre 15 y 80% en muchos suelos. Las formas de P orgánico en suelo incluyen una amplia gama de esterres, como los fosfatos de inositol, fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfo-azúcares y derivados del ácido fosfórico (conteniendo un enlace C-P) (Wild, 1988; Tisdale *et al.*, 1993).

Fósforo inorgánico. La apatita es un mineral fosfatado más frecuentemente encontrado en las rocas. También se han identificado minerales secundarios, como la candallita encontrada en guano, a la vivianita encontrada en suelos inundados y de turba (Wild, 1988). La naturaleza y la cantidad de la fijación de P o reacciones de retención depende de muchos factores, el más importante es el pH (Tisdale *et al.*, 1993). Las reacciones entre pH y fósforo son que en suelos ácidos, el P inorgánico precipita como mineral secundario de Fe o Al, y/o es adsorbido por la superficie de óxido de Fe/Al y arcillas minerales. En suelos neutros o alcalinos, el P inorgánico precipita como mineral secundario de Ca y/o adsorbidos por la superficie de arcillas minerales y  $\text{CaCO}_3$ . (Tisdale *et al.*, 1993). En la planta la mayor parte del P es absorbido por las plantas como iones ortos fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), los cuales están presentes en la solución del suelo. La cantidad de cada una de las formas presentes depende del pH de la solución del suelo.

La absorción de la forma  $\text{HPO}_4^{2-}$  es más lenta que con  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Hay una acumulación de P relativamente alta en el ápice de las raíces seguida por una zona de baja acumulación donde hay elongación celular, la segunda región donde hay una alta acumulación está donde se desarrollan los pelos radiculares (Tisdale *et al.*, 1993).

Después de su absorción, la mayor parte de los fosfatos rápidamente forman compuestos orgánicos, los cuales intervienen en gran número de reacciones enzimáticas como la fosforilación, biosíntesis de glúcidos, lípidos, síntesis de clorofila y carotenoides, así como la glucosis y metabolismo de los ácidos orgánicos. Los fosfatos son, constituyentes de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos, incluidos los de las membranas citoplasmáticas. El ácido fítico (hexafosfato de inositol) o más exactamente, su sal cálcica o magnésica (también denominada fitina), que se forma en las semillas y proporciona los fosfatos necesarios en el proceso de germinación. También son esenciales para la división celular y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos (Wild, 1988).

- Deficiencia de P. Las deficiencias de P generalmente ocurren cuando su concentración en las plantas está por debajo de 0.2% y puede ser causada por bajas temperaturas del suelo. La deficiencia de P retarda el crecimiento y disminuye la relación brotes/raíces. Los síntomas incluyen un color verde oscuro en las hojas adultas, una coloración púrpura típica a lo largo de la hoja y necrosis en los márgenes de éstas pueden aparecer. Las deficiencias de P disminuyen la producción de frutos, semillas y flores (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidad de P. Altas concentraciones de P en el sustrato pueden disminuir el crecimiento, principalmente por restricción de la absorción y translocación de Zn, Fe y Cu, apareciendo síntomas inducidos de esos micronutrientes (Mills y Jones, 1996).

#### ***2.5.4. Potasio***

En el suelo el potasio se encuentra como un catión, aunque se puede encontrar también asociado con el humus y arcillas minerales. Su contenido en el suelo varía, desde menos del 0.01% hasta cerca de 4%, pero se sitúa normalmente, alrededor de 1%. Los dos grupos de minerales potásicos que se presentan en las rocas y en los suelos son las micas: moscovitas 2 y biotita; y los feldespatos: ortoclasa y microclasa. La mayoría del potasio en el suelo (90 a 98%) se presenta en los látices cristalinos de feldespatos (Wild, 1988).

El aprovisionamiento de  $K^+$  depende de la concentración de éste en las inmediaciones de las raíces, de su velocidad de transporte a través de la solución a la superficie radicular, de la renovación de la solución por desorción a partir de las superficies adsorbentes y de la extensión que alcanza la ramificación radicular en el suelo (Wild, 1988). Las plantas absorben el ión  $K^+$  de la solución del suelo. En la planta, el potasio es absorbido en su forma catiónica  $K^+$ . La absorción en el suelo, está relacionada a la concentración de otros cationes, como es el caso del magnesio ( $Mg^{2+}$ ), por problemas de competencia iónica, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor cantidad (Rodríguez, 1982). La máxima disponibilidad del potasio en el suelo se encuentra con valores de pH en el intervalo 6.5 a 7.5; por encima, decae por competencia con los iones  $Ca^{2+}$  y

sobrepasado el pH de 8.5, vuelve a aumentar, ya que los suelos alcalinos son generalmente abundantes en sodio y potasio.

El contenido de K en las plantas es, aproximadamente, el mismo que el del nitrógeno y entre los cationes, es el más abundante en los jugos celulares; regula el potencial osmótico del que, a su vez depende la turgencia de las células oclusivas del estoma (precipita en forma de malato potásico, en las células oclusivas cuando los estomas están abiertos y se liberan pasando a forma iónica cuando estos se cierran) (Wild, 1988). Cuando el potasio entra al sistema metabólico de las células, forma sales con los ácidos orgánicos del interior de las mismas, que sirven para regular el potencial osmótico celular, regulando así el contenido de agua interna. Se enlaza iónicamente a la piruvato quinasa, que es esencial para la respiración y el metabolismo, e interviene en la formación de azúcares y almidones (Christensen *et al.*, 1978; Bidwell, 2002). La translocación de los azúcares requiere energía en forma de ATP los cuales requieren K para su síntesis. La translocación de azúcar de las hojas es fuertemente reducida en plantas deficientes de K (Tisdale *et al.*, 1993). Claramente, el potasio tiene un importante papel como regulador osmótico y, por alguna razón, no puede ser reemplazado satisfactoriamente por otros cationes, aunque el  $\text{Na}^+$  lo hace, en cierto grado, en las halofitas (Gil, 1995).

- Deficiencias de K. Para la mayoría de los cultivos, los síntomas de deficiencia de K se manifiestan usualmente como un color de verde claro a amarillo alrededor de los márgenes y puntas de las hojas adultas, los cuales, posteriormente, evolucionan a necrosis (“quemadura”). Las plantas deficientes en K son más sensibles a las enfermedades (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidades de K. Las plantas con exceso de K presentan frecuentemente deficiencias de Mg y posiblemente de Ca, debido a que se inducen desbalances nutrimentales, los cuales interfieren en la relación óptima de K/Mg y K/Ca, si estos dos nutrimentos están por debajo de sus rangos de suficiencia (Mills y Jones, 1996)

### **2.5.5. Calcio**

En el suelo se presenta formando parte de los silicatos y permanece en la fracción mineral del suelo. Se presenta como cationes intercambiables entre la solución del suelo y el complejo adsorbente y puede aparecer, también, como sales de cloruros, sulfatos, carbohidratos u otras sales. Los silicatos incluyen las plagioclasas, que tienen una composición química variable entre la albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) y la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) y son en consecuencia fuentes de calcio. Fuentes importantes también son la dolomita, calcita y apatita (Tisdale y Nelson, 1988).

En casi todos los suelos neutros o ligeramente ácidos, los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  ocupan la mayor parte de las posiciones de intercambio de las arcillas y de los coloides húmicos. Puede presentarse como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) en los suelos formados a partir de rocas calizas y otros minerales calcáreos, y en los suelos recientemente encalados. Aparece en forma de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en algunos suelos de las regiones áridas y semiáridas. En regiones húmedas, el Ca es lixiviado y a medida que el suelo se acidifica, su lugar como catión de intercambio sobre el complejo puede ir ocupándose por Al. En condiciones de acidez, la relación de Ca cambiante a Mg se reduce y puede llegar a ser menor que uno debido, probablemente, a la baja liberación del Mg de los silicatos (Wild, 1988).

En la planta, es absorbido en forma de ión  $\text{Ca}^{2+}$ , se le encuentra en abundantes cantidades en las hojas de las plantas y, en algunas especies, en las células de las plantas precipitado en forma de oxalato cálcico. Puede presentarse en la savia de las células en forma iónica (Tisdale y Nelson, 1988). La concentración en la materia seca de las plantas puede variar en un intervalo tan amplio como 0.1 a 2.5%, pero como este elemento tiene baja movilidad y no puede redistribuirse desde las hojas más viejas a las más jóvenes, las concentraciones más elevadas son, probablemente, superiores a las exigencias metabólicas. Es esencial para el crecimiento y, especialmente, para el adecuado crecimiento y funcionamiento de los ápices radiculares. Juega un papel clave en el mantenimiento de la integridad de las membranas. Protege los sistemas radiculares frente a los desequilibrios iónicos, bajos niveles de pH y toxicidad de algunos elementos, como el aluminio.

Es necesario para la formación de algunas enzimas, como la amilasa y determinadas nucleasas (Wild, 1988). Favorece la formación y el crecimiento de la proteína contenida en la mitocondria. El calcio se relaciona a la síntesis de las proteínas por incremento sobre la asimilación de

nitrógeno nítrico y se asocia con la actividad de ciertos sistemas enzimáticos (Tisdale y Nelson, 1988). Es el catión más importante en la síntesis de la pectina de la laminilla de las paredes celulares y está presente, formando parte de la fitina, en las semillas (Bidwell, 2002; Tisdale y Nelson, 1988; Wild, 1988). Es generalmente considerado como un elemento inmóvil, por lo menos en las plantas herbáceas (Tisdale y Nelson, 1988).

- Deficiencia de Ca. La deficiencia de Ca está caracterizada por una reducción en el crecimiento de los tejidos meristemáticos. La deficiencia ocurre primeramente en los meristemos apicales y hojas jóvenes debido a que el Ca es muy poco móvil en la planta. Las hojas que presentan deficiencia de Ca son deformes y cloróticas, y en etapas posteriores éstas pueden necrosarse en los márgenes. Las deficiencias temporales de Ca pueden ocurrir cuando los niveles de este elemento en el xilema son bajos, debido a la reducción en la tasa de transpiración ocasionada por la alta humedad relativa, días nublados o poca disponibilidad de agua (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidad de Ca. Los síntomas por exceso de Ca, aparecen principalmente como deficiencias inducidas de Mg o K (Mills y Jones, 1996). Las hojas empiezan a tornarse amarillas en los limbos, que más adelante quedan enteramente amarillos, afectándose las nervaduras verdes.

#### ***2.5.6. Magnesio***

Su presencia en el suelo se origina por el intemperismo de rocas que contienen minerales como la biotita, dolomita, clorita, serpentina y olivino, los piroxenos y los anfíboles con formulas generales  $RSiO_3$  y  $R_7(Si_4O_{11})_2(OH)_2$ , respectivamente, donde incluye Mg, Fe, Ca, Na y otros iones metálicos. El Mg difiere del Ca y del Na en que es un componente de la red cristalina de una mica (biotita) y aunque la estructura de las micas cambia durante el intemperismo (Wild, 1988). En el intemperismo de estos minerales, el magnesio se desplaza libremente en el agua que lo rodea. Este entonces puede ser: a) lixiviado, b) absorbido por los organismos vivos, c) adsorbidos por la partícula del suelo y d) precipitado como mineral secundario. Su comportamiento en el suelo sigue los mismos principios que el calcio y el potasio (Tisdale y Nelson, 1988).

En la planta la concentración de magnesio en la materia seca de las plantas es variable, pero generalmente más baja que la del calcio. Sin embargo a diferencia del calcio el magnesio es móvil y una gran parte de magnesio se combina con aniones orgánicos, por ejemplo el ácido málico (Wild, 1988). El Mg constituye un 2.7% en la composición de la clorofila, al igual que en la fitina en un 1.5% (esta última es una sustancia de reserva, rica en fósforo en una proporción del 22 al 25% y en calcio un 12% que emigra hacia las semillas). Es absorbido en la forma de ión  $Mg^{2+}$ , es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila (porfirina magnésica) y se halla localizado en su centro. Su importancia es evidente, ya que la ausencia de clorofila impediría a las plantas verdes realizar la fotosíntesis. Se requiere para la activación de un gran número de enzimas relacionadas con el metabolismo de los hidratos de carbono, síntesis de ácidos nucleicos enzimas que involucran transferencia de dióxido de carbono, reacciones de carboxilación, es decisivo en reacciones de metabolismo energético, así como en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma (Bidwell, 2002). Y es muy importante en el llamado ciclo del ácido cítrico, de importancia en la respiración celular.

Reacciones de fosforación relacionadas con el metabolismo del nitrógeno en las plantas son catalizadas por este elemento. (Tisdale y Nelson, 1988). Parece estar implicado en la estabilización de partículas ribosómicas; al enlazar subunidades que forman el ribosoma. Está involucrado en numerosas reacciones de diversa capacidad, puede servir para ligar substrato, como por ejemplo en reacciones que implican transferencia de fosfatos desde el ATP, en las que el magnesio actúa como un eslabón que vincula la enzima a su substrato, puede servir para alterar la constante de equilibrio de una reacción mediante enlaces con un producto, como ejemplo en ciertas reacciones de quinasas. Puede también anexarse formando un complejo a un inhibidor enzimático (Bidwell, 2002). Debido al papel que juega en la fosforilación, la distribución de Mg en la planta coincide, frecuentemente con el fósforo (Wild, 1988).

- Deficiencia de Mg. La deficiencia de Mg se caracteriza por un amarillamiento internerval de la hoja que progresa desde los márgenes hacia el centro de la hoja. El patrón más típico de deficiencia de Mg es un tejido de conducción verde rodeado de un fondo amarillo. Básicamente, las hojas se tornan duras y quebradizas y las nervaduras se tuercen. La absorción de magnesio disminuye cuando el pH del medio es menor de 5.5 (Mills y Jones, 1996).

- Toxicidad de Mg. En condiciones de campo es difícil encontrar toxicidad por Mg, aunque en situaciones extremas de exceso se pueden presentar síntomas de deficiencias inducidas de Ca, K y algunos micronutrientes (Mills y Jones, 1996).

Las ferredoxinas que intervienen en la fotosíntesis y en otras reacciones de transferencia de electrones, contienen azufre reducido y hierro en cantidades similares (Wild, 1988).

### **2.5.7. Hierro**

En el suelo el Fe es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre con un contenido promedio de 3.8% en los suelos y los requerimientos de las plantas más exigentes se sitúan entre 1.0 a 2.0 kg/ha. El contenido total varía desde <1%, en algunos suelos arenosos lavados, hasta >30%, en horizontes enriquecidos de Fe y plintitas (Wild, 1988). Puede presentarse en los suelos en forma de minerales primarios (olivino, auguita, horblenda y biotita), arcillas silicatadas, óxidos hidratados, compuestos orgánicos, así como adsorbido en el complejo de intercambio, o bien en forma soluble en la solución del suelo.

El  $\text{Fe}^{2+}$  y el  $\text{Fe}^{3+}$  al reaccionar con el carbonato de calcio en sistemas oxidantes como los suelos calcáreos, forman óxidos de hierro disminuyendo así su solubilidad para las plantas. Esto provoca una deficiencia de Fe en los cultivos que crecen en esas condiciones (Pineda, 1988). La solubilidad del precipitado es en consecuencia, muy baja en las condiciones normales de los suelos. Además de  $\text{Fe}^{3+}$ , está también presentes en la solución del suelo las formas hidrolizadas  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$  (Wild, 1988).

En la planta el hierro es absorbido del suelo por las raíces en forma iónica o como sales orgánicas complejas y por el follaje posiblemente como  $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ , cuando se aplican sulfatos o quelatos de hierro. En lo general la forma activa dentro de la planta es  $\text{Fe}^{2+}$ , por lo que aun cuando las plantas contengan altas cantidades de este elemento como  $\text{Fe}^{3+}$ , pueden presentar síntomas de deficiencia (Tisdale y Nelson, 1988).

El Fe es parte del sitio catalítico de muchas enzimas óxido-reductoras importantes, y es esencial para la formación de clorofila, aunque no forma parte de la molécula. También está presente en varias enzimas oxidantes de importancia (catalasa y peroxidasa), en las cuales no sufre de valencia. Forma parte de varias enzimas sin grupo heme como algunas flavoproteínas y la ferredoxina (Bidwell, 2002), agente transportador de electrones en la fotofosforilación, en la reducción fotosintética del NADP y en la reducción de los nitritos (Wild, 1988). Se requieren mayores niveles de hierro en la división celular que en la respiración, lo cual indica sus múltiples funciones (Bidwell, 2002). El Fe es indispensable para la síntesis de clorofila y en el desarrollo del cloroplasto; niveles bajos de hierro activo en la planta disminuyen el contenido de clorofila y conducen a la manifestación de la clorosis férrica. (Baker *et al.*, 2007)

Las raíces de las plantas reducen  $\text{Fe}_3^+$  a  $\text{Fe}_2^+$  y este proceso parece que es un requisito esencial para absorberlo de la solución del suelo. Después de su absorción, el  $\text{Fe}_2^+$  se oxida y se transloca a la parte aérea en forma de citrato férrico. Parte del hierro puede almacenarse en las hojas de una fosfoproteína férrica, fotoferitina, que sirven de reserva para el desarrollo de los plastos y en consecuencia para la fotosíntesis (Wild, 1988).

- Deficiencia de Fe. Los síntomas por carencia de Fe son muy similares a los del Mg, debido a que ambos participan en la formación de clorofila. Sin embargo, la clorosis internerval aparece primeramente en las hojas nuevas debido a que el Fe es un elemento inmóvil en la planta (Bidwell, 2002). La falta de Fe ocasiona acumulación de aminoácidos y nitratos en las plantas.
- Toxicidad de Fe. La toxicidad con Fe causa un bronceado en las hojas, seguido de manchas color café en éstas. Niveles por encima de 300-400 mg kg<sup>-1</sup> de Fe en tejido vegetal pueden inducir una toxicidad (Mills y Jones, 1996).

#### **2.5.8. Manganese**

El contenido de Mn en el suelo se sitúa entre 300 y 500 µg g<sup>-1</sup>. Está como  $\text{Mn}^{2+}$  en la solución del suelo, sobre el complejo de intercambio y como óxidos en el que se presenta como  $\text{Mn}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{4+}$ . El Mn en solución y el cambiante se presentan probablemente, como  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$  en

suelos ácidos (Wild, 1988). En la planta es absorbido de la solución del suelo en forma de  $Mn^{2+}$  translocado a la parte aérea como ión libre. Al igual que el magnesio puede intervenir como cofactor de muchas enzimas fosforiladas. Algunas de las reacciones enzimáticas del ciclo tricarbóxicos, son activadas por Mn, regulando los niveles de auxina en los tejidos vegetales (Wild, 1988). También es absorbido en combinación molecular con ciertos complejos orgánicos como el EDTA. También puede ser absorbido en forma directa a través de las hojas y es comúnmente aplicado en pulverizaciones foliares para correcciones de deficiencias (Tisdale y Nelson, 1988). Se necesita para el funcionamiento de la nitrato reductasa, por cuya razón a las plantas deficientes en manganeso se les requiere adicionar directamente  $NH_3$ . También la requieren algunas en el metabolismo de hormona ácido indolacético. El papel más importante del Mn en la fotosíntesis reside en la secuencia de reacciones mediante las cuales se derivan electrones del agua y se libera oxígeno (Bidwell, 2002).

- Deficiencia de Mn. La sintomatología por falta de Mn en las plantas es muy diferente en función de la especie, aunque la apariencia de las plantas es similar a la que manifiestan aquellas sin Fe y Zn. De manera general, la carencia de Mn ocasiona una clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidad de Mn. La toxicidad de Mn ocurre en plantas desarrolladas en suelos con un  $pH < 5.4$ . Los síntomas por excesos de Mn son amarillamiento marginal en las hojas jóvenes con el área central de color verde. Pueden aparecer manchas necróticas en varias partes de la hoja (Mills y Jones, 1996).

### **2.5.9. Cobre**

En el suelo se presenta normalmente como Cu (II), para valores de pH próximos o superiores a 7, hay  $Cu(OH)^+$  en proporciones significativas, pudiendo intervenir en las reacciones de adsorción del suelo; parece ser que la mayor parte del Cu se presente en formas adsorbidas u ocluidas en los hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso, o en forma compleja en la materia orgánica. El Cu forma fácilmente complejos orgánicos y éstas son las formas más abundantes en la solución del suelo. (Wild, 1988).

En la planta es absorbido en forma de iones  $\text{Cu}^+$  y  $\text{Cu}^{2+}$  y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico como el EDTA. Las sales de cobre son absorbidas a través de las hojas (Tisdale y Nelson, 1988). Desempeña funciones catalíticas constituyendo la parte no proteínica de ciertas enzimas oxidantes, tales como el citocromo-oxidasa, ácido ascórbico-oxidasa, amino-oxidasa, la tirosinasa, y polifenol (Bidwell, 2002; Wild, 1988). Está presente en la plastocianina de los cloroplastos, un componente importante del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis y puede estar involucrado en la reducción de nitritos (Bidwell, 2002; Wild, 1988).

Además de las oxidasas que catalizan la reducción del oxígeno molecular, las plantas poseen otro sistema enzimático, peróxido di-mutasa, que contiene zinc y cobre y reaccionan con los iones peróxido,  $\text{O}_2^-$ , produciendo oxígeno molecular y peróxido de hidrógeno. Como los iones peróxido son tóxicos y se producen fácilmente a partir de oxígeno molecular, la peróxido di-mutasa juega un papel muy importante en el metabolismo de las plantas (Wild, 1988).

- Deficiencia de Cu. El cobre es inmóvil en la planta por lo que los síntomas por deficiencia de éste aparecen en las hojas nuevas. Los efectos negativos consisten en la reducción del crecimiento con distorsión de las hojas jóvenes y los puntos de crecimiento, así como muerte de los meristemas apicales. La floración y fructificación son afectados por la falta de Cu. El polen y los ovarios en las flores son muy sensibles a la carencia de Cu (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidad de Cu. Los excesos de Cu pueden inducir deficiencias de Fe. El crecimiento radical es afectado negativamente, debido al daño en las membranas de las células en este órgano de absorción. Las hortalizas son muy sensibles al exceso de Cu, comparadas éstas con otras especies (Mills y Jones, 1996).

#### **2.5.10. Zinc**

El contenido de zinc en suelos agrícolas varía entre 50 y 300  $\mu\text{g g}^{-1}$ . En la solución de los suelos ácidos, el Zn se presenta como  $\text{Zn}^{2+}$ . Para valores más altos de pH, las formas  $\text{Zn}(\text{OH})^+$ ,  $\text{Zn}(\text{HCO}_3)^+$  y  $\text{ZnCO}_3$  están en concentraciones que dependen de la concentración parcial de  $\text{CO}_2$ . Los complejos orgánicos de Zn son menos importantes en la solución del suelo al comparado al Cu (Wild, 1988). En la planta es absorbido por las raíces en forma de ión  $\text{Zn}^{2+}$  y puede también

ser absorbido en forma de complejo molecular de agentes quelatantes como EDTA. Puede penetrar al sistema de la planta directamente por las hojas (Tisdale y Nelson, 1988). Es un componente esencial de tres enzimas vegetales: carbónico anhidrasa, alcohol deshidrogenasa y peróxido di-mutasa y se sugiere que es demandado específicamente para muchas otras enzimas vegetales, entre las que se encuentran las deshidrogenadas, nucleotidotransferasas (polimerasas) y algunas peptidasas y proteinasas (Wild, 1988).

- Deficiencia de Zn. La de zinc en plantas ocasiona clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes. Un síntoma típico por falta de este elemento es el acortamiento de entrenudos (“arrosetamiento”) (Mills y Jones, 1996).
- Toxicidad de Zn. Niveles por encima de 200 mg kg<sup>-1</sup> de Zn en tejido vegetal causan una reducción en el crecimiento radical y en la expansión foliar, seguidos de clorosis. Contenidos elevados de Zn en suelos pueden inducir deficiencias de Fe, Mn o P (Mills y Jones, 1996).

### **2.5.11. Boro**

En el suelo es el único microelemento no metálico. El contenido de B total en el suelo, varía de 2 a 200 mg k<sup>-1</sup>, del cual la mayor parte no es asimilable por las plantas. Generalmente la cantidad de B total que puede hallarse de forma asimilable, es inferior al 5% (Alarcón, 2004). El B total de los suelos se encuentran bajo tres formas: formando parte de minerales silicatados prácticamente inasimilables por las plantas, absorbido por arcillas (principalmente tipo mica) e hidróxidos de hierro y aluminio, ligado a la materia orgánica, de la que es liberado progresivamente por los microorganismos. Está presente en la solución del suelo probablemente como ácido bórico H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, ácido débil. Para pH <7 domina la forma H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, pero a medida que el pH supera el valor 7 la concentración de B (OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> aumenta (Wild, 1988).

Factores que afectan su disponibilidad

Las reservas del suelo en B: en general son bajas en los suelos de textura gruesa y pobres en materia orgánica. Temperatura e intensidad luminosa: elevadas temperaturas y una fuerte intensidad luminosa acentúan los síntomas de deficiencia de B. Las fertilizaciones nitrogenadas

en grandes cantidades: atenúan los excesos de boro, ya que disminuyen la absorción de B por las plantas. Del mismo modo, una elevada fertilización nitrogenada podría inducir una deficiencia en B (Alarcón, 2004).

En las plantas, el B es absorbido principalmente bajo la forma de ácido bórico  $H_3BO_3$  no disociado de forma pasiva. Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa como anión borato  $B(OH)_4$ , parece ser que el proceso de absorción es inicialmente pasivo (por difusión en el espacio libre), seguido después de una absorción activa en el espacio interno, aunque todo esto no está muy claro (Alarcón, 2004).

Tiene papel importante en el metabolismo de glúcidos (participa en la migración y en la utilización de los glúcidos, también en la síntesis de la sacarosa y almidón), en la formación de las paredes celulares (lignificación), en procesos de transporte (la carencia de boro también puede conducir a la formación de calosa, compuesto cercano a la celulosa que puede obturar los tubos cribosos, afectando el transporte por el floema) también interviene en la actividad ATPasa, fundamental en los procesos de transporte iónico, absorción y utilización de fósforo, estabilización de la membrana celular, elongación de la raíz y metabolismo de ácidos nucleicos (ARN y ADN); interviene en el metabolismo de fenoles, auxinas y diferenciación de tejidos; mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen y el crecimiento de los tubos polínicos (Alarcón, 2004; Tisdale y Nelson, 1979)

- Deficiencia de B. La deficiencia de B puede causar una elongación retardada o anormal de los puntos de crecimiento y/o meristemos apicales. La acumulación de auxinas y fenoles induce necrosis de las hojas y otros órganos de las plantas. Las raíces llegan a presentar necrosis en las puntas. La carencia de B puede causar deformaciones de las hojas (Mills y Jones, 1996). La falta de B se origina muy rápidamente un descenso del nivel de RNA y el cese de la división celular en los meristemos radiculares; en consecuencia, las raíces son más cortas y abolladas (Wild, 1988).
- Exceso de B. El rango entre los niveles adecuados y tóxicos de B en hojas es muy estrecho. Niveles arriba de 5 mg L<sup>-1</sup> de B en el agua pueden causar daño a la mayoría de las plantas.

Los síntomas por niveles elevados de B son clorosis y necrosis en las puntas de las hojas y caída prematura de éstas (Mills y Jones, 1996). En el Cuadro 1 se presentan los rangos teóricos de suficiencia para el cultivo de gladiolo a nivel foliar.

**CUADRO 1. RANGOS TEÓRICOS DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL CULTIVO DE GLADIOLO**

Elemento	Rango de Suficiencia
N%	2.9-5.0
P%	0.25-0.60
K%	2.5-4.0
Ca %	0.5-1.5
Mg %	0.2-0.4
Fe ppm	80-200
Mn ppm	40-120
B ppm	25-80
Zn ppm	20-70
Cu	8-15

(%=Porcentaje, ppm=Partes por millón) (Alarcón 2004)

## 2.6. El Gladiolo

### 2.6.1. Taxonomía

*Gladiolus L.* Pertenece a la familia Iridaceae. El género se distribuye en el área mediterránea europea, Asia, África tropical y Sudáfrica. No obstante, el centro de diversificación del género es la provincia de El Cabo, en Sudáfrica, donde se ha hallado el mayor número de especies. De hecho, el género comprende aproximadamente 250 especies, de las cuales 163 son de África austral, 10 de Eurasia, 9 de Madagascar y las restantes de África tropical (Goldblatt y Manning, 1998).

Es un género de plantas herbáceas perennes, con tubero-bulbo de túnicas fibrosas, hojas inferiores reducidas a vainas. Hojas superiores dísticas, generalmente equitantes, de lineares a estrechamente lanceoladas. Tallo floral generalmente al final del tallo, con inflorescencia espiciforme. Flores bisexuales, sésiles, cada una rodeada de una bráctea y una bractéola. Perianto simétrico bilateralmente, tubular o infundibuliforme, con 6 lóbulos algo desiguales. Androceo con 3 estambres naciendo en el tubo del perianto. Estilo trífido en el ápice. Fruto en cápsula con

semillas aladas. Comprende 180 especies nativas de África, Madagascar, Europa, Arabia y Oeste de Asia. Populares plantas de jardín, algunas también utilizadas como flor cortada (Sánchez, 2001).

### **2.6.2. Multiplicación**

Los gladiolos se multiplican usualmente a través de "bulbillos". Estos bulbillos son cormos en miniatura que se forman en la base del cormo original. Se observan fácilmente cuando se arrancan los cormos en otoño para almacenarlos durante el invierno. Los bulbillos necesitan de uno o dos años de cultivo para alcanzar el tamaño necesario para producir espigas de buen tamaño. La multiplicación realizada de este modo es asexual, todos los cormos derivados de un mismo cultivar mantendrán inalterables las características genéticas y, por ende, todas las características fenotípicas (Anderson y Park, 1989).

La multiplicación a través de semillas (sexual) se realiza para el mantenimiento de poblaciones de especies silvestres, o bien, para hacer mejoramiento genético. Al cruzar manualmente dos cultivares entre sí, las plantas derivadas de la semilla obtenida manifestarán una gran variabilidad para muchos caracteres, incluyendo el tamaño y color de la flor, la resistencia a enfermedades y la fenología. Estos atributos pueden ser seleccionados y posteriormente retenidos en forma indefinida mediante la multiplicación asexual (Anderson y Park, 1989).

### **2.6.3. Necesidades del cultivo**

*Temperatura.* La temperatura mínima biológica (cuando no hay crecimiento) es de 5-6 °C. Las temperaturas óptimas para su desarrollo son de 10-15 °C por la noche y de 20-25 °C por el día. La formación del tallo floral tiene lugar desde los 12°C hasta los 22°C. La temperatura ideal del suelo es de 10-12 °C, las superiores a 30 °C son perjudiciales para esta planta. Al contrario de lo que ocurre con otras plantas bulbosas, como el tulipán, la inducción y la diferenciación floral se produce después de la plantación de los bulbos, cuando aparece la tercera o cuarta hoja, es decir, después de 4 a 8 semanas. Esta duración varía en función de la temperatura y no de la luz.

*Fotoperiodo.* El gladiolo florece cuando los días son mayores de 12 horas (se dice que es una especie de día largo), y es una planta heliófila (afín al sol) por lo que requiere bastante luminosidad; si esta es insuficiente las plantas no florecen. Por esta razón, cuando se lo cultiva en invernadero durante los meses de invierno es necesario aportar iluminación artificial.

*Humedad relativa.* La humedad ambiental deberá estar comprendida entre 60-70%

*Suelo.* Es poco exigente en suelos, pero prefiere los arenosos, bien drenados y con aportes de fertilizante o abonos orgánicos. Si el suelo es arcilloso hay que evitar encharcamientos que son causales de enfermedades. El pH óptimo está entre 6 y 7(Infoagro, 2008).

#### ***2.6.4. Cosecha y calidad de espigas de flor de gladiolo***

La cosecha normal se efectúa en el estado en que las dos o tres flores individuales en la base de la espiga presentan color. Para transporte a largas distancias, se puede recomendar un estado aún más temprano si se combina con tratamientos con azúcar para asegurar una adecuada apertura de las flores en destino. Las flores para mercados locales se cortan cuando se abre la primera flor individual (florete). La cosecha se ejecuta de tal forma de dejar la mayor cantidad de hojas en la planta que sea posible. . Si se cosecha al estado de yema verde y se maneja adecuadamente, es posible que se abran todas las flores individuales en las espigas.

Los gladiolos, como la mayoría de las flores con espigas, son muy sensibles a la fuerza de gravedad y, a partir de la horizontal, tenderán siempre a crecer curvándose, particularmente en temperaturas cálidas. Esto puede llevar a deformación permanente de la parte superior de la espiga y la consiguiente reducción de la calidad de la flor. Durante los procedimientos de postcosecha, los gladiolos deben mantenerse verticales para evitar este efecto, siendo menor cuando las flores se mantengan a baja temperatura durante almacenamiento y transporte. Los factores de calidad para gladiolos incluyen rectitud y fortaleza del tallo, ausencia de daños y enfermedades y madurez.

### **3. MATERIALES Y METÓDOS**

#### **3.1 Ubicación del área de trabajo**

Se hicieron colectas de tejido vegetal de plantas del ciclo otoño invierno de 2007, en cinco entidades productoras de planta de gladiolo en la zona centro de México, y se tomaron muestras de suelo de los primeros 20 cm, de los lugares donde se hicieron las colectas, los sitios fueron: Atlixco, Sn Salvador y Sn Lucas, Puebla; Pilcaya, Guerrero; Tuxpan, San Jerónimo (Quiroga), Michoacán; Ixtapan del Oro, Jocotitlan, Ixtlahuaca, Estado de México y Cuautla, Ayala, Cuauhtepic (Zacualpan) y Oacalco (Yautepec), en Morelos.

#### **3.2 Localización de las zonas de estudio**

##### **1. Atlixco, Puebla**

Se localiza en la parte centro Oeste del estado de Puebla. Tiene una altitud promedio de 1840m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 49` 30" y 18° 58` 30" de latitud norte y los meridianos 98° 18` 24" y 98° 33` 36" de longitud occidental.

Se pueden identificar 3 tipos de suelo: Suelo Fluvisol, suelo Regosol y Suelo Feozem. El Clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Este clima se localiza al centro y sur ocupando la mayor parte del municipio.

##### **2. San Salvador el Verde, Puebla**

Se localiza en la parte centro Oeste, del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 12'18" y 19 ° 21'54" de latitud norte y los meridianos 98° 26'54" y 98° 93'18" de longitud occidental.

En el municipio se presenta la transición de los climas templados del valle de Puebla, y a los semifríos de las partes bajas de la Sierra Nevada; se identifican dos climas: Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Temperatura media anual entre 12 y 18 grados C. Se

identifican los siguientes suelos: Suelo Cambisol: Se localiza en la porción central y extremo noreste. Suelo Fluvisol: Se localiza en una área reducida al centro-sur.

### 3. Pilcaya, Guerrero

El municipio de Pilcaya se localiza en la parte norte del estado; localizado sobre los paralelos 18°42' y 18°46' de longitud norte y los 99°30' y 99°44' de longitud oeste, en relación al meridiano de Greenwich.

Predomina el tipo de clima subhúmedo-cálido con variaciones o templado, la temporada media oscila entre los 10 y 20°C presentando lluvias en verano y otoño, con vientos moderados predominantes de sureste a noroeste, con velocidad media de 3 a 4 kilómetros por hora, pero llegando a registrar velocidades altas en la misma dirección en periodos de lluvias.

En las partes altas y montañosas destaca el suelo café grisáceo, café rojizo y amarillo bosque; en las zonas planas y valles, predominan los suelos chernozem o negro, ambos son propicios para la agricultura.

### 4. Tuxpan, Michoacán

Se localiza al este del Estado, en las coordenadas 19°34' de latitud norte y 100°28' de longitud oeste, a una altura de 1,730 metros sobre el nivel del mar. Su clima es templado, con precipitación pluvial anual de 1,096.1 milímetros y temperaturas que oscilan de 12.8 a 28.6° centígrados. Los suelos corresponden principalmente a los del tipo podzólico.

### 5. Quiroga, Michoacán

Se localiza al norte del Estado, en las coordenadas 19°40' de latitud norte y 101°32' de longitud oeste, a una altura de 2,080 metros sobre el nivel del mar.

Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación anual de 788.6 milímetros cúbicos y con temperaturas que oscilan de 4.9 a 25.6° centígrados. Los suelos corresponden principalmente a los del tipo chernozem.

### 6. Ixtapan del Oro, México

Sus coordenadas geográficas son: 19°12'23" de latitud, mínima y 19°19'07" de latitud máxima; y a los 100°13'07" de longitud mínima y 100°19'47", las localidades se sitúan entre 1 570 a 2040 msnm.

El clima predominante del municipio es (A)c(W)a(i)g; esto es semicálido, subhúmedo, con lluvias en verano; el rango de precipitación se encuentra entre los 1,000 a 1,300 mm.

El suelo del municipio está caracterizado básicamente por suelos andosoles.

#### 7. Jocotitlan, México

Se sitúa entre los paralelos 19° 36' 45" y 19° 48' 58" de latitud norte, y entre los 99° 39' 33" y 100° 00' 55" de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Clima que predomina en la región se clasifica como templado sub-húmedo con lluvias en verano (CW). La temperatura media anual es de 13.2 °C con una máxima de 31 °C y una mínima de 4 °C. La precipitación pluvial promedio anual es de 1,008.52 mm; y se registran heladas los últimos meses del año, así como algunas nevadas. Los suelos predominantes son los vertisoles y fulvisoles a la orilla de los ríos.

#### 8. Ixtlahuaca, México

Sus coordenadas son: 19° 28' 06" al 19° 44' 03" latitud norte y 99° 40' 43" al 99° 54' 59" longitud oeste.

Su clima es templado subhúmedo, la precipitación media anual es de 828.4 mm y la temperatura media anual es de 14.8° C. El suelo que predomina es el vertisol.

#### 9. Ayala, Morelos

El municipio de Ayala, se ubica entre los 18 46' minutos de latitud norte y los 98 59' de longitud oeste, a una altura de 1,220 metros sobre el nivel del mar,

El clima en este municipio es cálido subhúmedo, este estrato climático, se localiza en alturas sobre el nivel del mar menor a 1,400 m, Su precipitación y temperatura media anual es de 800 mm. Los tipos de suelos que predominan son Vertisol, Rendzina, Castañozem y Feozehaplico.

#### 10. Cuautla, Morelos

El Municipio de Cuautla se localiza en las coordenadas: Al norte 18° 49', al sur 18° 49' de latitud norte; al este 98° 57'; al oeste 99° 01' de longitud oeste.

El tipo de clima predominante es de tipo (AW) cálido subhúmedo con lluvias en verano, agrupando el subtipo más seco de los subhúmedos con régimen de lluvia invernal menor de 5%

con oscilaciones comprendidas entre 5 y 7 grados centígrados, teniendo una temperatura promedio de 20.5 grados centígrados.

El tipo de suelo predominante es redzina con capa superficial blanda de color oscuro rico en materia orgánica y nutrientes.

#### 11. Yautepec, Morelos

Su localización geográfica es 18° 53' de latitud norte y 99° 04' de longitud este con una altura a nivel del mar de 1,210 metros.

La temperatura media es de 22.7 °C el tipo de clima es cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con precipitación pluvial anual de 945.7 milímetros anuales. El tipo de suelo predominante es el Rendzina.

#### 12. Zacualpan de Amilpas, Morelos

Situado en las coordenadas 98 ° 46' longitud oeste y 18° 47' de latitud norte, a una altura de 1,640 metros sobre el nivel del mar.

El municipio cuenta con clima semicálido, en el período de primavera, mantiene una temperatura promedio de 19.7 grados centígrados. La precipitación pluvial es de 943 milímetros al año. Los suelos predominantes son cambisoles.

### **3. 3 Trabajo en campo**

Para la recolección se tomaron plantas que tuvieran la cuarta hoja bien formada, específicamente en el momento en el que se está formando la vara floral, se tomaron 7 plantas por cada sitio.

El método de muestreo fue el de zig-zag tanto para plantas como para suelo. Los criterios para las muestra de suelo fueron el tamaño de los predios y la uniformidad de los terrenos.

Se elaboro una muestra compuesta tanto de las muestras de estructura foliar como de las muestras de suelos para cada sitio.

Se lavaron tanto raíces como hojas, se pusieron a secar a una temperatura de 70°C en estufa después se realizaron los análisis de laboratorio.

### **3.4 Análisis Foliar de Laboratorio**

Análisis de tejido vegetal. Por medio de la extracción de muestras por digestión húmeda se analizó por medio de espectrofotometría los contenidos de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, y B. El nitrógeno se determinó por el método de microkjeldahl. Con técnicas estandarizadas de manual del laboratorio de nutrición vegetal del colegio de posgraduados por Alcántar y Sandoval (Alcántar y Sandoval, 1999).

### **3.5 Análisis de Suelo**

Se obtuvieron los siguientes parámetros, de los cuales se hace una descripción del método o modelo utilizado para su respectiva obtención: El pH se obtuvo utilizando un potenciómetro, la conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro, el contenido de materia orgánica se obtuvo por el método de W. Y Black. (Aguilar et al, 1987) Con respecto a los macro-nutrientes que se pretenden estudiar se tiene que, el contenido de nitrógeno se obtuvo por el método de Microkjeldhal (Aguilar et al, 1987), el elemento fósforo se obtuvo con el procedimiento de Bray, (Aguilar et al, 1987) en tanto el potasio se analizó por medio de fotometría de flama, al igual que el sodio, el calcio y magnesio se obtuvieron por medio de titulación con EDTA. Y se determinó; de las muestras la textura y densidad aparente.

### **3.6. Análisis Estadístico**

De los resultados de los análisis obtenidos se realizaron pruebas de hipótesis, entre los resultados de las muestras y los índices de suficiencia establecidos para el cultivo según Alarcón (2004).

Se buscó la correlación de los nutrientes de la planta, entre los contenidos nutrimentales de raíz y hoja y se evaluaron posibles deficiencias y fallas en el transporte nutrimental de raíz y parte aérea. Se diagnosticaron anomalías nutrimentales en base a la concentración de los elementos tanto en raíz como en hoja. Se relacionaron las anomalías nutrimentales con los posibles problemas en los suelos como la salinidad, acidez, CIC.

### 3.6.1. Prueba de T para dos muestras independientes

Esta prueba se aplica cuando se tienen muestras de dos subpoblaciones y sobre cada individuo de cada muestra, se mide una variable con distribución normal. La prueba *t-student* sobre dos muestras independientes se utiliza para contrastar la hipótesis nula de que las muestras proceden de dos subpoblaciones en las que la media es  $\mu$ .

La prueba de hipótesis correspondiente es:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ Vs } H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

La regla de decisión es: si P-value asociado al estadístico de contraste es menor que  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia  $\alpha$ .

Prueba de hipótesis para intervalos.

Esta prueba se utiliza cuando la media de una muestra varía en forma continua en un intervalo (Mood y Graybill, 1978; Casella, 1990), como las variables evaluadas en la presente investigación comparadas con un rango de suficiencia. Para esto se asume que  $(X_1, X_2, \dots, X_p)$  es una muestra aleatoria con  $\sim N(0, \sigma^2)$ .

El planteamiento de la prueba de hipótesis a realizar se presenta a continuación:

$$H_0 : \theta_1 \leq \bar{X} \leq \theta_2 \text{ Vs } H_a : \bar{X} < \theta_1 \text{ ó } \bar{X} > \theta_2$$

Donde:

$\theta_1$ : Límite inferior del rango de suficiencia para la variable que se está probando

$\bar{X}$ : Es la media muestral o experimental de la variable que se está comparando

$\theta_2$ : Límite superior del rango de suficiencia para la variable que se está probando

La regla de decisión para esta prueba es:

Se rechaza  $H_0$  si  $\bar{X} > \theta_2 + t_{n-1, \alpha/2} \sqrt{s^2/n}$  ó  $\bar{X} < \theta_1 + t_{n-1, \alpha/2} \sqrt{s^2/n}$

Donde:

$t$ : Distribución probabilística *t-student*

$n$ : Número de observaciones en la muestra

$s^2$ : Varianza muestral

$\alpha$ : Valor de significancia, que para esta investigación se propone de 0.05 de tal manera que la confiabilidad es ( $1 - \alpha = 0.95 = 95\%$ ).

### 3.6.2 Correlaciones

Se utilizó la matriz de correlación Pearson, que consiste en medir la asociación lineal existente entre dos variables en escala de intervalo o de razón, tomando valores entre -1 y 1. Donde los valores próximos a 1 indican fuerte asociación lineal positiva, eso significa que a medida que aumentan los valores de una de las dos variables aumentan los de la otra; valores próximos a -1 indican una fuerte asociación lineal negativa, es decir, a medida que aumentan los valores de una de las dos variables, los de la otra disminuyen y valores próximos a 0 indican que no hay asociación lineal.

La prueba de hipótesis a realizar se presenta a continuación:

$H_0: \rho = 0$  VS  $H_a: \rho \neq 0$

Es decir,  $H_a$  sostiene que las dos variables que se están correlacionando tienen algún nivel de correlación.

La regla de decisión es: Se rechaza  $H_0$  si  $P\text{-value} < \alpha$

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Pruebas de Hipótesis

Se realizó la comparación de los valores de concentraciones promedio de macro y micro-nutrientes en hoja de gladiolo para cada uno de los cinco estados de la república, de donde fueron colectadas muestras de hoja de sitios comerciales de gladiolo en producción, con el rango teórico publicado por Alarcón, 2004 y contra el rango calculado al considerar la variabilidad y el error de la colecta de muestras en el estado referido según el procedimiento estadístico de Mood y Graybill (1978); Casella (1990).

Realizadas las comparaciones se evaluaron los contenidos, otorgándoles calificaciones según la siguiente descripción: La calificación de “No se rechaza  $H_0$ ”, se otorga cuando el valor medio de concentración nutrimental en hoja de gladiolo se encuentra dentro del rango de suficiencia y puede afirmarse: su concentración es “normal”. Por otra parte, en la calificación de “Se rechaza  $H_0$ ”, podemos deducir entonces, que el valor promedio medido en hoja se encuentra fuera del rango de suficiencia, pero deberá de apreciarse si este valor es inferior, para asociarlo como posible deficiencia (“hambre oculta”); o bien, el valor promedio es superior y por lo tanto se apreciará como exceso y posible toxicidad si este rebasa significativamente el límite superior del rango citado. Con estos elementos conceptuales se establece el rechazo o aceptación de las hipótesis nula ( $H_0$ ) para las concentraciones de 10 nutrientes en hoja de gladiolo en cinco estados de la república en los Cuadros del 2 al 6.

Para el estado de Puebla en predios comerciales de gladiolo se afirma, todos los nutrientes, con excepción al contenido de boro (B), se encuentran en concentración fuera del rango de suficiencia e infiriendo que son “deficientes” estrictamente en juicio estadístico. Conviene valorar cuáles nutrientes relativamente son más deficientes con base a la simple apreciación porcentual de los valores medios con respecto al valor del límite inferior del rango de suficiencia calculado. Así, se aprecia como muy cercanos al rango de suficiencia (10% faltante) al N y Zn; en contraste a valores que presentan un mayor nivel en deficiencia (se adopta un valor 50%

menor al límite del rango de suficiencia); y se identifican al P y Ca como “muy deficientes en hoja de gladiolo cultivado en Puebla” (Cuadro 2).

**CUADRO 2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE PUEBLA.**

Elemento	Media	Rango Teórico		Rango Calculado		Decisión
		Mín $\theta_1$ ♣	Máx $\theta_2$ ♣	Prueba 1	Prueba2	
N, %	3.14	2.9	5.0	3.15	5.25	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
P, %	0.20	0.2	0.6	0.38	0.73	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
K, %	1.93	2.5	4.0	2.79	4.29	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
Ca,%	0.45	0.5	1.5	0.86	1.86	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
Mg, %	0.32	0.2	0.4	0.39	0.59	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
Fe,ppm	121	80	200	190	310	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
Mn,ppm	42	40	120	68.6	148.6	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
B,ppm	46.7	25	80	42.7	97.7	No se rechaza Ho, normal
Zn,ppm	33.5	20	70	39.3	89.3	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>
Cu,ppm	7.3	8	15	12.5	19.5	<i>Se rechaza Ho, deficiente</i>

(♣ Según Alarcón. 2004.).

En los datos obtenidos del estado de Guerrero (ver Cuadro 3) en predios comerciales de gladiolo se afirma: se encontraron en concentraciones de suficiencia o normalidad a los nutrimentos de N, P, Ca, Fe, Mn y B; en tanto el resto se calificaron en concentración “deficiente” (K, Zn y Cu); con la apreciación de que estos últimos valores no son en extremos deficientes (con el criterio de faltar un 50% con respecto al valor del límite inferior del rango de suficiencia).

**Cuadro 3. Prueba de Hipótesis de rango de suficiencia de nutrientes en hoja para el estado de Guerrero**

Elemento	Media	Rango Teórico		Rango Calculado		Decisión
		Mín $\theta_1$ ♣	Máx $\theta_2$ ♣	Prueba 1	Prueba 2	
N, %	3.5	2.9	5.0	3.1	5.2	No se rechaza Ho, normal
P, %	0.6	0.2	0.6	0.4	0.7	No se rechaza Ho, normal
K, %	2.1	2.5	4.0	2.7	4.2	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
Ca, %	0.8	0.5	1.5	1.0	2.0	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
Mg, %	0.3	0.2	0.4	0.3	0.5	No se rechaza Ho, normal
Fe, ppm	237.5	80	200	222.1	342.1	No se rechaza Ho, normal
Mn, ppm	165.6	40	120	143.7	223.7	No se rechaza Ho, normal
B, ppm	64.2	25	80	38.0	93.0	No se rechaza Ho, normal

<b>Zn, ppm</b>	41.1	20	70	63.8	113.8	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Cu, ppm</b>	16.2	8	15	17.4	24.4	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>

(♣ Según Alarcón, 2004)

Las decisiones de la prueba de hipótesis calculada realizada a los análisis de muestras de material vegetal de gladiolo en predios comerciales del estado de Morelos (Cuadro 4), se muestra una deficiencia en los macro-elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), el fósforo, el potasio, calcio y magnesio se encuentran en deficiencia severa. El micro-elemento cobre está por debajo de los rangos de suficiencia recomendados. El hierro, por otra parte se encuentra en exceso según los rangos de suficiencia encontrándose en un nivel extremo (por encontrarse a más del doble que el límite superior de la prueba). El boro y el cinc se encuentran en el rango de suficiencia.

**CUADRO 4. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE RANGO DE SUFICIENCIA DE NUTRIENTES EN HOJA PARA EL ESTADO DE MORELOS**

Elemento	Media	Rango Teórico		Rango Calculado		Decisión
		Mín $\theta_1$ ♣	Máx $\theta_2$ ♣	Prueba 1	Prueba 2	
<b>N, %</b>	3.0	2.9	5.0	3.5	5.6	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>P, %</b>	0.3	0.2	0.6	0.7	1.1	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>K, %</b>	1.5	2.50	4.0	3.6	5.1	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Ca, %</b>	0.5	0.50	1.5	1.1	2.1	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Mg, %</b>	0.3	0.20	0.4	0.7	0.9	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Fe, ppm</b>	<b>1357</b>	80.0	200.0	156	276	<b>Se rechaza Ho Exceso</b>
<b>Mn, ppm</b>	66.6	40.0	120.0	48.1	128.1	No se rechaza Ho Normal
<b>B, ppm</b>	59.4	25.0	80.0	30.8	85.8	No se rechaza Ho Normal
<b>Zn, ppm</b>	47.3	20.0	70.0	26.7	76.7	No se rechaza Ho Normal
<b>Cu, ppm</b>	9.5	8.0	15.0	10.9	17.9	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>

(♣Según Alarcón2004)

En el estado de Michoacán se encontraron los siguientes resultados de las muestras de material vegetal de gladiolo en los predios estudiados, de acuerdo a las decisiones de las pruebas estadísticas (Cuadro 5): El nitrógeno fósforo potasio y magnesio están por debajo de los niveles de suficiencia recomendados, sin encontrarse alguno de los elementos mencionados con deficiencias severas. En los micro-nutrientes cobre, hierro se encuentran deficiencias y solamente el cobre presenta deficiencias severas o extremas.

Los nutrimentos que se encuentran dentro del rango de suficiencia son el calcio, manganeso, el boro y el cinc.

**Cuadro 5. Prueba de Hipótesis de rango de suficiencia de nutrientes en hoja para el estado de Michoacán**

Elemento	Media	Rango Teórico		Rango Calculado		Decisión
		Mín $\theta_1$ ♣	Máx $\theta_2$ ♣	Prueba 1	Prueba2	
<b>N, %</b>	3.2	2.9	5.0	3.6	5.7	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>P, %</b>	0.3	0.2	0.6	0.5	0.9	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>K, %</b>	2.0	2.5	4.0	2.7	4.2	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Ca, %</b>	0.9	0.5	1.5	0.8	1.8	No se rechaza Ho Normal
<b>Mg, %</b>	0.2	0.2	0.4	0.3	0.5	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Fe, ppm</b>	235.4	80.0	200.0	278.2	398.2	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Mn, ppm</b>	174.8	40.0	120.0	232.3	312.3	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>B, ppm</b>	61.8	25.0	80.0	35.2	90.2	No se rechaza Ho Normal
<b>Zn, ppm</b>	46.7	20.0	70.0	26.1	76.1	No se rechaza Ho Normal
<b>Cu, ppm</b>	42.6	8.0	15.0	161.3	168.3	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>

(♣Según Alarcón. 2004)

Para los análisis de las pruebas de material vegetativo de gladiolo en los predios comerciales del Estado de México (Cuadro 6) se obtuvieron los siguientes resultados: Se observa una concentración “normal” en los macro-elementos de nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo, así también los micro-elementos, manganeso, boro y cinc.

El potasio y el cobre tienen una concentración deficiente, no mostrando una deficiencia severa, en tanto que el hierro mostró un exceso, mostrando niveles no excesivos (tomando en cuenta más 50% que el límite superior de la prueba).

**Cuadro 6. Prueba de Hipótesis de rango de suficiencia de nutrientes en hoja para el Estado de México**

Elemento	Media	Rango Teórico		Rango Calculado		Decisión
		Mín $\theta_1$ ♣	Máx $\theta_2$ ♣	Prueba 1	Prueba2	
<b>N, %</b>	3.3	2.9	5.0	3.2	5.3	No se rechaza Ho Normal
<b>P, %</b>	0.4	0.4	0.6	0.3	0.7	No Se rechaza Ho Normal
<b>K, %</b>	1.9	2.5	4.0	2.8	4.3	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>
<b>Ca, %</b>	0.9	0.5	1.5	0.7	1.7	No Se rechaza Ho Normal
<b>Mg, %</b>	0.31	0.2	0.4	0.2	0.4	No Se rechaza Ho Normal
<b>Fe, ppm</b>	<b>405.8</b>	80.0	200	182.8	302.8	<b>Se rechaza Ho Exceso</b>
<b>Mn, ppm</b>	195.0	40.0	120.0	122.4	202.4	No Se rechaza Ho Normal
<b>B, ppm</b>	63.6	25.0	80.0	32.0	87.0	No Se rechaza Ho Normal
<b>Zn, ppm</b>	52.0	20.0	70.0	31.5	81.5	No Se rechaza Ho Normal
<b>Cu, ppm</b>	9.7	8.0	15.0	11.0	18.0	<i>Se rechaza Ho Deficiente</i>

(♣ Según Alarcón. 2004)

Se presenta un resumen de los resultados estadísticos de contenidos químicos en las muestras de hojas de gladiolo en predios comerciales en los estados de Guerrero, México, Morelos, Michoacán y Puebla. (Cuadro 7 y Cuadro 8).

El estado de Morelos tiene un déficit notable en los contenidos químicos de macro-elementos, así también en el micro-elemento Cobre, y mostrando un exceso en el contenido de Hierro, mientras el contenido de potasio, calcio, zinc, cobre son insuficientes en el estado de Guerrero, y los elementos restantes se encuentran en el rango establecido como normal, también se muestran deficiencias de Potasio y Cobre en el Estado de México, y hay un exceso de contenido de Hierro en las hojas de gladiolo.

Se observa que, el 44% de la los elementos están fuera del rango de suficiencia calculado.

Se observa que en el estado de Puebla es donde se tiene el mayor déficit de elementos nutrimentales en la planta, encontrándose en rango solo los elementos de Manganeso y Boro.

Los elementos en el que todos los estados tienen problemas de escasez son Potasio y Cobre. De los cuales uno es un elemento móvil y el otro es inmóvil.

El cobre (Cu), tiene relación directa con la producción de enzimas dentro de las estructuras de la planta, y su deficiencia aunque no es extrema, puede tener consecuencias inmediatas, como es el crecimiento retardado de las plantas, incluso la detención en el crecimiento.

Los estados de Michoacán, Morelos y Puebla presentan deficiencias en macro-nutrientes (ver Cuadro 7) Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) exceptuando este último en Michoacán; tomando en cuenta que el nitrógeno fósforo y potasio son elementos esenciales dentro de la estructura de la planta y su composición, las deficiencias de estos elementos pueden producir crecimiento más lento y enanismo además de una clorosis en las hojas maduras.

**Cuadro 7. Concentraciones de macro-elementos en hoja de gladiolo normal o dentro del rango, *deficientes*, o en exceso en la estructura foliar .**

Edo/Elemento	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
Guerrero	3.5	0.6	2.1↓	0.8↓	0.3
México	3.3	0.4	1.9↓	0.9	0.3
Michoacán	3.2↓	0.3↓	2.0↓	0.9	0.2↓
Morelos	3.0↓	0.3↓	1.5↓	0.5↓	0.3↓
Puebla	3.1↓	0.2↓	1.9↓	0.4↓	0.3↓
Rango	2.9-5.0	0.4-0.6	2.5-4.0	0.5-1.5	0.2-0.4

(*Cursivas=Deficiente*↓,**Negritas=Exceso**↑)

**Cuadro 8. Identificación de concentraciones micro-elementos en hoja de gladiolo dentro del rango, deficientes, o en exceso en la estructura foliar en cinco estado de México.**

Edo/Elemento	Fe ppm	Mn ppm	B ppm	Zn ppm	Cu ppm
Guerrero	237.5	165.6	64.2	41.3↓	16.2↓
México	<b>405.8</b> ↑	195.0	63.6	52.0	9.7↓
Michoacán	235.4↓	174.8↓	61.8	46.7	42.6↓
Morelos	<b>1357.7</b> ↑	66.7	59.4	47.3	9.5↓
Puebla	121.4↓	42.0	46.7	33.5↓	7.2↓
Rangos	80-200	40-120	25-80	20-70	8-15

Nota: *Cursiva=Deficiente*↓,**Negritas=Exceso**↑)

## 4.2 Oferta química de los suelos en cinco estados evaluados del cultivo de gladiolo.

A continuación se muestran los resúmenes de las concentraciones de la oferta química de las muestras de suelo extraídas de predios comerciales de producción de gladiolo de los cinco estados estudiados.

### pH

El pH encontrado en los cinco estados varía desde fuertemente ácido a débilmente ácido, la mayor acidez se encuentra en el estado de México con un valor de 5.25, en el estado de Puebla se detecto el valor menos ácido mientras que los estados de Morelos y Michoacán se encuentran en el límite inferior del valor de acidez débil. Se encontró un promedio en la acidez de los estados con valor de 5.85 donde se observa que en suelo de los sitios donde se produce gladiolo de los cinco estados muestreados es moderadamente ácido (Cuadro 9).

Para una mejor apreciación se presenta el cuadro 10 con los valores de pH y su clasificación

Se recomienda, para aumentar el pH del suelo de los estados de Michoacán y México con dosis de 1.0 a 2.0 ton/ha de roca caliza o dolomita finamente pulverizada a >200 mesh

**Cuadro 9. Valor promedio de pH de los suelos con gladiolo producido en los cinco estados de la república**

Estado	Valor pH promedio	
Guerrero	6.01	Moderadamente ácido
México	5.25	Fuertemente ácido
Michoacán	5.59	Moderadamente ácido
Morelos	6.01	Moderadamente ácido
Puebla	6.42	Débilmente ácido

**Cuadro 10. Rangos de pH y su clasificación para distintos cultivos \***

Valor de pH*	Estatus
5.1-5.5	Fuertemente ácido
5.6-6.0	Moderadamente ácido
6.1-6.5	Débilmente ácido

\*(según Alarcón, 2004)

## Conductividad eléctrica

La conductividades eléctricas (CE), medidas en una parte de suelo seco por cinco de agua fueron desde 0.25 dS m<sup>-1</sup> en el estado de Guerrero, hasta de 0.87 dS m<sup>-1</sup> en el estado de Morelos. Este último dato muy cercano al límite de riesgo salino porque las concentraciones problemáticas tienen valores superiores a 1.0 dS m<sup>-1</sup>. (Alarcón, 2004). Mientras que los estados de Puebla y México presentan suelos ligeramente salinos, sin problemas para la mayoría de los cultivos, y el estado de Guerrero presenta un valor clasificado como no salino.

Para una mejor apreciación se presenta el cuadro 12 con los valores de conductividad eléctrica y su clasificación.

**Cuadro 11. Valor promedio de CE en los suelos con gladiolo producido en los cinco estados de la república**

Estado	C. Eléctrica dS/m. promedio
Guerrero	0.25 No salino
México	0.50 Ligeramente Salino
Michoacán	0.67 Salino
Morelos	0.87 Salino
Puebla	0.59 Ligeramente salino

**Cuadro 12. Rangos de la conductividad eléctrica en extracto 1:5 de suelo:agua**

CE (dS/m. a 25 °C)*	Clasificación del suelo
<0.35	No salino
0.35-0.65	Ligeramente salino
0.65-1.15	Salino
1.15-2	Muy salino
>2	Extremadamente salino

\*Según Alarcón, 2004

Para los estados de Morelos y Michoacán es necesario planear “lavado” del perfil del suelo para evitar potencial daño por exceso de sales. La C.E. no salino del estado de Guerrero eventualmente es indicador de baja fertilidad del suelo

#### Materia orgánica

Los valores de materia orgánica encontrados en las muestras de los cinco estados mostrados en el cuadro 13, presentan que la materia orgánica de los suelos de Michoacán y Morelos es alta. En Puebla y Guerrero es baja y en el Estado de México presenta normalidad.

Se presenta el cuadro 15 con los valores de porcentaje de materia orgánica en el suelo y su clasificación.

**Cuadro 13. Contenido promedio de M.O. en suelos con producción de gladiolo en los cinco estados de la república**

Estado	Materia Orgánica %,
Guerrero	1.47
México	2.68
Michoacán	3.78
Morelos	3.29
Puebla	1.19

**Cuadro 14. Calificación del suelo, según su contenido en materia orgánica.**

% Materia Orgánica*	Nivel
1.0-2.0	Bajo
2.0-3.0	Normal
3.0-4.0	Alto

\*Según Alarcón, 2004

El gladiolo requiere como cultivo intensivo de alta rentabilidad cantidades de materia orgánica que oscilan entre el 3 y 4%, por esta razón se sugiere aplicar como enmienda física y química previo al cultivo y en la preparación del suelo de 5 a 10 ton/ha de abono orgánico (estiércol lombricomposta, etc.); dosis mayores en los suelos de Puebla y Guerrero categorizados como desérticos o áridos porque el contenido de materia orgánica es cercano a 1%

### Nitrógeno Total

Los contenidos de Nitrógeno en el suelo en los cinco estados con producción de gladiolo, están presentados en el cuadro 16 y su interpretación se hace con ayuda del cuadro 17.

En el estado de Puebla el contenido de nitrógeno es de 0.05 % siendo considerada como “baja”, en el estado de Guerrero la concentración presentada es también “baja” por debajo de 0.1% mientras que en los estados de Morelos Michoacán y México las concentraciones son mayores a 0.1% y su clasificación se encuentra en un nivel “medio” de concentración en el suelo.

**Cuadro 15. Contenido promedio de Nitrógeno Total (N.T) en suelos con gladiolo, producido en los cinco estados de la república**

Estado	Nitrógeno Total, Promedio %
Guerrero	0.06 Bajo
México	0.10 Bajo
Michoacán	0.16 Medio
Morelos	0.11 Medio
Puebla	0.05 Muy Bajo

**Cuadro 16. Rangos de valores de nitrógeno en el suelo\***

N Total %	Clasificación
<0.05	Muy bajo
0.05-0.10	Bajo
0.10-0.20	Medio

---

\*Según Alarcón, 2004

El Nitrógeno total disponible fue calculado con base a la materia orgánica del suelo; y la previsión es planear una fertilización nitrogenada mayor a la demanda del cultivo de gladiolo, razonamiento fuerte en la zona de Puebla donde el contenido de nitrógeno en las hojas fue bajo.

#### Fósforo

Para la oferta química de fósforo (Cuadro 17) se tiene que en el estado de Puebla hay una concentración alta de fósforo, en los estados de Guerrero y Michoacán los valores se encuentran como “muy altos”, mientras que en los estados de Morelos y México los niveles sobrepasan los rangos referenciados. (Cuadro 18).

**Cuadro 17. Contenido promedio de fósforo en suelos de predios comerciales con gladiolo, producido en los cinco estados de la república**

Estado	Fósforo meq/100g Promedio
Guerrero	64.3 Muy Alto
México	107.2 Muy Alto
Michoacán	75.9 Muy Alto
Morelos	180.5 Muy Alto
Puebla	48.4 Alto
Promedio	95.3 Muy Alto

**Cuadro 18. Resumen de rangos de valores de fósforo asimilable en el suelo \***

P Asimilable	Clasificación
11-20 ppm	Bajo
20-30 ppm	Normal
31-50 ppm	Alto
51-80 ppm	Muy alto

---

\*Según Alarcón, 2004

La oferta de fósforo en el suelo los cinco estados (Cuadro 17), es de Alta a muy alta no obstante en Michoacán, Morelos y Puebla midieron contenidos bajos de fósforo (Cuadro 7), con lo cual se deriva la necesidad de aplicar practicas orientadas a aumentar la eficiencia o aprovechamiento de la fertilización fosfórica, porque es evidente que en los tres estados mencionados la absorción y metabolismo de fósforo son bajos, se sugieren pruebas de fuentes, dosis, técnicas de fertilización, inoculación de semillas vegetativas o rizomas con micorrizas.

### Potasio

En la oferta química de potasio del suelo en los sitios muestreados con plantaciones comerciales de gladiolo (Cuadro 19) encontramos que en los estados de Guerrero y México existe una baja oferta del elemento de potasio, los estados de Puebla y Morelos presentan concentraciones calificadas como “medias” y en el estado de Michoacán la concentración de potasio resulto alta.

Para una mejor apreciación se presenta el Cuadro 20 con los rangos de potasio en el suelo y su clasificación.

**Cuadro 19. Contenido de potasio en suelos de predios comerciales con gladiolo, en los cinco estados de la república**

Estado	Potasio meq/100g
Guerrero	0.32 Bajo
México	0.32 Bajo
Michoacán	0.93 Alto
Morelos	0.59 Bajo
Puebla	0.57 Bajo
Promedio cinco estados	0.55 Bajo

**Cuadro 20. Resumen de rangos de contenido de potasio en el suelo \***

Nivel de Potasio	Clasificación
< .25 ppm	Muy bajo
0.25-0.5 ppm	Bajo
0.5-0.75 ppm	Medio

0.75-1.0 ppm

Alto

\*Según Alarcón, 2004

Al comparar el contenido promedio de potasio (Cuadro 7) y la oferta química del potasio en suelos (cuadro 17) se deduce un grave problema de ausencia de potasio en la nutrición de gladiolo, sobre todo en los estados de Guerrero y México, es necesario probar métodos más eficientes de fertilización potásica en todo el país.

### Calcio

La oferta química de calcio de los sitios muestreados (Cuadro 21) indica que en los estados de Puebla, Michoacán y México son clasificados como Bajos, en los estados de Guerrero y Morelos la oferta química es “media”.

**Cuadro 21. Contenido de calcio en suelos de predios comerciales con gladiolo, en los cinco estados de la república**

Estado	Calcio(meq/100g)
Guerrero	16.27 Medio
México	8.75 Bajo
Michoacán	9.66 Bajo
Morelos	14.81Medio
Puebla	5.12 Bajo
Promedio	10.92 Medio

**Cuadro 22. Resumen de rangos de contenido de calcio en el suelo \***

Nivel de Ca (meq/100g)	Clasificación
< 3.5	Muy bajo
3.5-10	Bajo
10-20	Medio
20-30	Alto

---

\*Según Alarcón, 2004

Con base a los cuadros 7 y 21; se identifica que en el estado de Puebla los contenidos de calcio en el suelo y en las hojas son “bajos”, en este estado se recomiéndala enmienda con roca caliza no solo para aumentar el pH, sino para aportar calcio como nutrimento, los estados de Guerrero y Morelos han de atender esta recomendación en menor proporción, por que los contenidos de calcio en la hojas son “bajos” y la oferta de este nutrimento en el suelo es “media”.

### Magnesio

Los contenidos de magnesio en suelo de los estados estudiados (Cuadro 23) muestran las siguientes características con apoyo de Cuadro 24: en el estado de Puebla el contenido de magnesio es “medio”, en los estados de Michoacán, Morelos y México el contenido de magnesio es “Alto”, y en el estado de Guerrero el contenido se clasifica como “muy alto”.

**Cuadro 23. Contenido de magnesio en suelos de predios comerciales con gladiolo, en los cinco estados de la república**

Estado	Magnesio(meq/100g)
Guerrero	8.90 Muy Alto
México	5.03 Alto
Michoacán	5.26 Alto
Morelos	7.46 Alto
Puebla	3.11 Medio
Promedio	5.95 Alto

**Cuadro 24 Rangos de valores de contenido de magnesio en el suelo**

Nivel de Mg (meq/100g)	Clasificación
0.6-2.5	Bajo
2.5-5.0	Medio

5.0-7.5	Alto
> 7.5	Muy alto

---

\*Según Alarcón, 2004

En los estados de Michoacán Morelos y Puebla se midieron bajos contenidos de Magnesio (Mg) en hojas de gladiolo (cuadro 7) aún cuando la oferta del suelo de este elemento fueron de “medias” a “altas”, por lo que se recomienda una enmienda con roca dolomita que contiene calcio y magnesio y fertilizantes como nitrato de magnesio y sulfato de magnesio.

### Sodio

Respecto a la presencia de sodio en los suelos muestreados de plantaciones comerciales con gladiolo en los cinco estados estudiados se encontró que en todos los sitios la clasificación entra en “medio” (Cuadro 25).

Para una mejor apreciación se presentan los rangos de contenido de sodio en suelo. (Cuadro 26) El Sodio (Na) como sal tóxica en los cinco estados (cuadro 25) se clasifica en “muy baja” lo cual indica que el daño potencial en el cultivo de gladiolo es nulo.

**Cuadro 25. Contenido de sodio en suelos de predios comerciales con gladiolo, en los cinco estados de la república**

Estado	Sodio(meq/100g)
Guerrero	0.14 Medio
México	0.25 Medio
Michoacán	0.24 Medio
Morelos	0.18 Medio
Puebla	0.17 Medio
Promedio	0.20 Medio

**Cuadro 26. Rangos de valores de contenido de Sodio en suelo**

Nivel de Na (meq/100g)	Clasificación
------------------------	---------------

<2	Medio
2-5	Alto
>5	Muy alto

\*Según Alarcón, 2004

### Relación K/Mg y Ca/Mg

En las relaciones de cationes de cambio al considerar un promedio de los cinco estados se encontró: el nivel de relación de K/Mg es menor a 0.2, lo que representa que está en un nivel bajo respecto al recomendado, se interpreta que: el potasio por antagonismo catiónico está en desventaja de ser absorbido por las raíces en comparación al magnesio. En cuanto a la relación Ca/Mg el factor es superior a 1.0 pero no se acerca al nivel ideal de lo establecido por lo que el magnesio se encuentra en mayor proporción. (Cuadro 27). En síntesis, el gladiolo requiere de aportaciones de potasio al suelo y, aún cuando en teoría el calcio no es deficitario; se sigue añadiendo a suelos ácidos roca caliza porque la relación o factor Ca/Mg no es la ideal. Se presenta la interpretación de diferentes relaciones entre cationes de cambio. (Cuadro 28)

**Cuadro 27. Relación K/Mg y Ca/Mg encontrados en el suelo con gladiolo en los 5 estados,**

Estado	Relación K/Mg(meq/100 g)	Relación Ca/Mg(meq/100 g)
Guerrero	0.03	1.82
México	0.06	1.73
Michoacán	0.17	1.83
Morelos	0.07	1.98
Puebla	0.18	1.64
Promedio	0.09	1.83
Rango "normal"	0.2-0.3	1.0-10.0

**Cuadro 28. Interpretación de diferentes relaciones entre cationes de cambio.**

K/Mg(meq/100 g)	Ca/Mg(meq/100 g)	Nivel
-----------------	------------------	-------

---

<0.2	<1	Baja
0.2-0.3	3.0-7.5	Ideal
>0.5	>10	Alta

---

\*Según Alarcón, 2004

Al encontrar equilibradas las relaciones antagónicas catiónicas de k/Mg y Ca/Mg se juzga necesario aportar al suelo fuentes con calcio y potasio, con lo anterior la absorción de estos elementos por las raíces de gladiolo integral y la nutrición de potasio, calcio y magnesio se agilizará.

### 4.3 Correlaciones.

Con el objeto de explicar asociaciones posibles de concentraciones químicas en tejidos de hoja y raíz de gladiolo, se realizaron correlaciones lineales de los nutrientes. las correlaciones positivas más significativas fueron: n raíz vs p raíz, n hoja vs p hoja, mg raíz vs zn raíz y cu raíz vs zn raíz; mientras correlaciones negativas relevantes fueron para k raíz vs k hoja, y fe raíz vs k raíz (cuadro 29).

**Cuadro 29. Correlaciones y el nivel de significancia de concentraciones de nutrientes en hoja y raíces de gladiolo**

Correlación	Significancia ** (Valor Pearson)
N Raíz vs P Raíz	1.00**
N Hoja vs P Hoja	1.00**
K Raíz vs K Hoja	-0.601**
Fe Raíz vs K Raíz	-0.567**
B Hoja vsCa Hoja	0.632**
Zn Hoja vsCa Hoja	0.551**
Mn Hoja vsCa Hoja	0.507**
Mg Raíz vs Fe Raíz	0.580**
Mg Raíz vs Zn Raíz	0.864**
Mg Raíz vs B Raíz	0.525**
Mg Raíz vs Cu Raíz	0.681**
Cu Raíz vs Fe Raíz	0.525**
Cu Raíz vs Zn Raíz	0.785**
B Raíz vs Fe Hoja	0.525**
B Raíz vs Zn Raíz	0.620**
Zn Raíz vs Fe Hoja	0.598**

La discusión de las correlaciones positivas de N vs P; ambos elementos móviles dentro de la planta, se explica por el principio de absorción preferencial y transporte por ión acompañante;

esto es, al aumentar el contenido de uno de ellos se incrementa el otro tanto en raíz como en hoja. En cambio, el principio anterior no aplica para las correlaciones positivas de Mg-Zn y Cu-Zn porque son cationes y compiten por sitios de absorción y transporte en tejidos de la planta. Más bien debe reconocerse que estas correlaciones positivas entre cationes están dadas en medios de soluciones de baja concentración del magnesio que incluso es dominado parcialmente por el Ca y K. En otras palabras, el antagonismo teórico no se manifiesta en el gladiolo entre los cationes de Mg, Zn y Cu. Por otra parte, respecto a las correlaciones negativas; se explica la escasa oferta de potasio del suelo se absorbió en raíz y éste elemento preferentemente se transportó a tejidos del follaje en proporción de una parte en raíz por dos de K en hoja.

Finalmente en suelos ácidos la solubilidad de hierro es alta y se absorbe en raíz en grado tóxico en promedio superior de 27 veces (7009 ppm) vs el contenido en hoja (257 ppm). Se cree que la planta de gladiolo excluye por fenómeno de precipitación al Fe en tejidos de raíces con probable disfunción y necrosis pero en dichas circunstancias ya no es transportado a las hojas e incluso puede llegar a encontrarse deficiente estadísticamente como fueron en los estados de Puebla, Guerrero y Michoacán. De esta manera se explica que por antagonismo catiónico el exceso de Fe reduce el contenido de potasio en tejidos de raíz.

#### **4.4 Comportamiento “Continuum” de los elementos en hoja:raíz**

El diagnóstico se valoró con la evaluación del *continuum* de los valores de concentración de un mismo nutriente entre los tejidos de la hoja y la raíz de las plantas colectadas de gladiolo. En este sentido conviene apreciar que los elementos móviles dentro de la planta son: N, P, K, Mg y los inmóviles son: Ca, Mn, Fe, B, Cu y Zn. La relación es continua cuando el valor es cercano o igual a 1.0. Por otra parte, se define como discontinua con movimiento preferencial del nutriente hacia la parte aérea de la planta si las concentraciones entre hoja/raíz es superior a 2.0; y finalmente la relación es discontinua cuando el nutriente se retiene en mayor concentración en tejidos de la raíz contra los tejidos de tallos y hojas por lo cual el índice es menor a 0.5.

El nitrógeno se midió exclusivamente la materia orgánica del suelo como la oferta de nitrógeno inorgánico al cultivo de gladiolo. Se juzgaron valores de medio a bajos de N. La continuidad del nitrógeno entre la raíz y la hoja fueron del orden de 1:3, esto es el movimiento fue preferencial hacía las hojas y se juzgó teóricamente alcanzó el mínimo del rango de suficiencia pero al calcular el rango ajustado con base estadística se establece existe una ligera falta de nitrógeno en los estados del país. No obstante y por encuestas a los productores, se apreció el cultivo de gladiolo recibe dosis significativas de N, P con base a fosfato de amonio a la siembra más urea en la escarda. Se cree por una baja densidad y profundidad de raíces a partir del cormo, la absorción de los macro-elementos es reducida: el N por flujo de masas o convección con el movimiento de agua, el P y el K por intercepción de raíces y difusión química. Se recomienda aplicar la fertilización cerca y oportunamente al cormo con fuentes altamente solubles y aprovechables en periodos cortos de presencia de lluvia o riego de un ciclo vegetativo-reproductivo de la flor y nuevos “cormillos” de no más de 120 a 150 días.

Para el fósforo, sí, se observa una discontinuidad del nitrógeno en todos los sitios evaluados dado la concentración en hoja es al menos dos veces comparado al N en tejidos de raíces; esto es en promedio para gladiolo en el país el factor hoja/raíz concentración de N es de 2.64. Se interpreta la baja oferta de nitrógeno en el suelo por los bajos contenidos de materia orgánica y ciertamente por la baja fertilización con nitrógeno; este nutrimento se traslado preferentemente a las hojas para formar proteínas como la clorofila.

Para el elemento de fósforo se calculó la relación de concentración en tejidos de hoja/raíz de 1.66; esto es análogo al N porque la escasa oferta de fósforo en el suelo fue trasladada a hojas de gladiolo con excepción a Puebla y Morelos donde la relación de P fue continua o cercana a 1.0.

El potasio en el suelo tuvo oferta desde bajo a medio e incluso en un sitio fue alto; pero invariablemente los contenidos de este elemento fue de muy bajo en las raíces a bajo en las hojas porque no alcanzó el mínimo en rango de suficiencia de 2.5%, la deficiencia de este elemento, al incrementarse el nitrógeno y fósforo, provoca clorosis o amarillamientos de las hojas maduras, y muerte prematura de las mismas debido a su movilidad, por lo tanto esta carencia actúa

debilitando la estructura de la planta. También disminuye la actividad fotosintética de la planta, y al ser un elemento que funciona como regulador de pH, y del potencial osmótico la planta puede presentar sensibilidad a cambios de pH por adición de sales o al estrés producido por estiaje o transpiración. La práctica sugerida es la fertilización con fuentes de potasio al suelo y favorecer su aprovechamiento con el equilibrio de otros cationes de calcio y magnesio; y posiblemente con fertilización foliar de Nitrato de Potasio o Fosfato Mono potásico.

La concentración de calcio en las hojas concuerda con la disponibilidad de este elemento en el suelo, ya que en efecto en concentraciones bajas en el suelo de calcio, las concentraciones en las hojas también fueron bajas, se deduce que no hubo elementos antagónicos en la absorción de Ca; el pH ácido a su vez afecta la absorción de calcio siendo importante el cuidado en los niveles del pH.

En el Magnesio se puede observar que la concentración en hoja/raíz es más uniforme o cercana a 1:1 La oferta química de magnesio fue alta, a excepción en el estado de Puebla cuyo nivel fue bajo, aún así se observan deficiencias de Mg en las hojas, esta condición afectada por las relaciones K/Mg y Ca/Mg, que son bajas.

**Cuadro 30. "Continuum" hoja/raíz de macro-elementos en los 5 estados estudiados.**

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Puebla	<b>2.48</b>	1.23	<b>2.07</b>	0.70	0.84
Guerrero	<b>3.07</b>	<b>2.23</b>	<b>2.46</b>	1.43	1.02
Morelos	<b>2.46</b>	0.86	1.16	0.64	0.74
Michoacán	<b>2.62</b>	1.98	1.94	1.65	0.75
México	<b>2.60</b>	<b>2.49</b>	<b>2.13</b>	<b>2.16</b>	0.98
Promedio	2.65	1.74	1.95	1.32	0.87

Números con negritas no existe *continuum* de concentración.

La relación de concentración es discontinua sí hoja/raíz es superior a 2.0; o la relación de raíz/hoja es menor a 1.0

En el Cuadro 31, se observan los datos de *continuum* que la concentración de Fe es muy alta en las raíces, mostrando una relación hoja/raíz muy baja en todos los estados (promedio en el país de 0.04) debido principalmente a la alta concentración de hierro en las raíces.

El manganeso muestra una relación cercana a uno en Guerrero, en el Estado de México la relación es superior a 1, mientras que en los estados de Puebla Morelos y Michoacán son inferiores.

El boro se manifiesta uniforme con una relación 1:1 en los estados de Guerrero, Morelos, Michoacán, y México, solo en el estado de Puebla se presenta una relación muy inferior debido a una alta concentración de boro en la raíz

El cinc en los estados de Guerrero, Michoacán y México tiene una relación cercana a 1:1 mientras en los estados de Puebla y Morelos la relación es menor, esto a la retención y acumulación en la raíz.

Podemos observar al cobre con una relación de 1:2 en el estado de Michoacán, una relación 1:1 en el estado de Guerrero, y en los estados de Puebla Morelos y México inferiores a 1:1 mostrando la relación menor el estado de Puebla, estados en donde se encuentra un bajo pH y donde la interacción antagónica con el elemento hierro influye para su baja absorción.

**Cuadro 31. "Continuum" raíz-hoja de micro-elementos en ppm en tejidos de gladiolo hoja y raíz en cinco estados de México.**

	Fe	Mn	B	Zn	Cu
Puebla	<b>0.02</b>	<b>0.24</b>	<b>0.49</b>	<b>0.68</b>	<b>0.34</b>
Guerrero	<b>0.04</b>	0.73	0.90	1.12	1.12
Morelos	<b>0.03</b>	<b>0.50</b>	1.04	0.71	<b>0.44</b>
Michoacán	<b>0.03</b>	<b>0.54</b>	1.05	0.96	<b>2.08</b>
México	<b>0.09</b>	1.39	1.06	1.55	0.73
Promedio	0.04	0.68	0.91	1.00	0.94

Números con negritas no existe *continuum* de concentración.

La relación de concentración es discontinua sí hoja/raíz es superior a 2.0; o la relación de raíz/hoja es menor a 1.0

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con las pruebas realizadas en los sitios de muestreo, se afirma que existen desbalances nutrimentales en gladiolo en los cinco estados estudiados.

Los estados en donde se observan fuertes desbalances nutrimentales son los estados de Puebla y Morelos, que presentan deficiencias en la mayoría de los elementos analizados.

Existe una deficiencia del elemento Potasio (K) en todos los sitios estudiados, la deficiencia de este elemento, al incrementarse el nitrógeno y fósforo, provoca clorosis o amarillamientos de las hojas maduras, y muerte prematura de las mismas debido a su movilidad, por lo tanto esta carencia actúa debilitando la estructura de la planta. También disminuye la actividad fotosintética de la planta, y al ser un elemento que funciona como regulador de pH, y del potencial osmótico la planta puede presentar sensibilidad a cambios de pH por adición de sales o al estrés producido por estiaje o transpiración.

La acidez de los suelos de México y Morelos pueden ser los causantes de las altas concentraciones de Hierro en raíces de la planta.

Con base a las correlaciones obtenidas se puede decir de N Raíz vs P Raíz y N Hoja vs P Hoja, que el nitrógeno favorece el ingreso de fósforo lo que hace importante el cuidado en la fertilización de gladiolo con estos dos elementos.

Los elementos que mostraron pocos conflictos son el boro y el cinc, los cuales mediante las pruebas realizadas no muestran desbalances o complicaciones.

La correlación negativa que existe de K Raíz vs K Hoja y Fe Raíz vs K Raíz de las muestras obtenidas se debe, en el caso del potasio a su deficiente concentración en la hoja, ya que si bien la escasez en el suelo no es severa si lo es asimilación de este nutriente y su translocación hacia la hoja.

La concentración de potasio en la hoja hace la insinuación de que existe conflicto con otro elemento. Mientras que la correlación negativa de Fe raíz vs K raíz puede dar indicios de que el hierro que en este caso es excesivo en algunos de los estados puede tener implicaciones en la concentración y asimilación de potasio en la raíz y su translocación hacia la hoja.

## 6. LITERATURA CITADA

Aguilar S., A. J. D. Etchevers B. Y J. Z. Castellanos R. (Eds.). (1987). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México. 217p.

Anderson E.W. , Park R. (1989). *Growing gladioli*. Chistopher Helm & Timber Press.USA. 166p.

Alarcón V. L. A (2004). *Diagnóstico Agrícola: Agua, Suelo y Material Vegetal. Master De Nutrición Vegetal En Cultivos Hortícola Intensivos*. Ed. Universidad Politécnica De Cartagena. 90 p.

Alarcón V. L. A. (2000). *Tecnología de cultivos de alto rendimiento*. Novedades Agrícolas. España. 312 p.

Alcántar G.G., Sandoval V.M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C. Publicación especial 10*.Chapingo Estado de México, México. 156 p.

Alcántar G. G., Trejo T.L.I. (2007). *Nutrición de cultivos*. Ed. Mundi Prensa. México. Colegio de Posgraduados. 438 p.

Alpi. A, Tognoni F. (1990). *Cultivo en Invernadero*. Mundi Prensa. España. 240 p

Baker V. Barker, Pilbeam J. David. (2007). *Handbook of plant nutrition*. Taylor y Francis group.U.S.A. 730 p.

Bidwell R.G.S.( 2002). *Fisiología vegetal*. AGT Editor. México D.F. 762 p.

Cadahía López Carlos. (2005). *Fertirrigación*. Mundi Prensa. España. 152 p.

CALIFORNIA FERTILIZER ASSOCIATION.( 2007). *Manual de fertilizantes para horticultura*. Limusa. D.F., México. 297 p

CALIFORNIA PLANT HEALTH ASSOCIATION. (2008). *Manual de Fertilizantes para cultivos de alto rendimiento*. Limusa. México. 366 p.

Casella G. and Berger, R. (1990). *Statistical Inference*. Editorial Duxbury Press. California, USA. 650 p.

Castellanos J.Z., Uvalle Bueno J.X., Aguilar Santelises. A. (2000) *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Intagri. México.

Christensen, L. P. A. N. Kasimatis and F. L. Jensen, (1978). *Grapevine nutrition and fertilization in the San Joaquin Valley* Pub No. 4078. Univ. Calif. Div. Agric. Sci. Berkley.

CLARIDADES AGROPECUARIAS. (2006). Floricultura mexicana; Flores de corte. Núm. 154 3-39 pp.

De Rosamel Cahntal, D. M. Cristophere. (2004). *El gran libro de las rosas*, Editorial de Vecchi. España. 213 p.

Ferre C. Ferre. (2008). *Técnicas de producción en cultivos Protegidos*. Cajamar. España. 220 p.

García G., Hernández C., y Martínez L. (1999) *Proyecciones*. Año 1. Número 1 Junio . ITESM, CEM. México 12 p.

Gil. M.F. (1995). *Elementos de Fisiología Vegetal*. Editorial Mundi Prensa. España. 230 p.

Graetz, A. H. (1997). *Suelos y fertilización* 2da. Ed. Trillas, México.

- Grajales Muñiz, Ofelia. (2005) *Apuntes de bioquímica vegetal: bases para su aplicación fisiológica*. UNAM. México. 137 p
- Goldblatt P. & J.C. Manning. (1998). *Gladiolus in southern Africa :Systematics, Biology, and Evolution*. Fernwood Press. Cape Town. 245 p.
- Haynes R.J. (1986). *Mineral nitrogen in the plant-soil. System*. Academic press Inc. Orlando, Florida. 89 p.
- Helfacre Gordon R., Barden A. John. (1992). *Horticultura*. AGT Editor S.A, México. 180 p.
- INEGI, (2008) “Mapa digital de México” Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. [En Línea]. Distrito Federal, Disponible en:  
<http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm> [Accesado el día 6 de Noviembre de 2008]
- INFOAGRO, (2008) “El cultivo del gladiolo” Infoagro Systems, S.L. [En Línea]. Madrid, Disponible en: <http://www.infoagro.com/flores/flores/gladiolo.htm> [Accesado el día 6 de Noviembre de 2008]
- Larson. Roy A. (1980). *Introduction to floriculture*. Ed. Academic Press. USA 417 p.
- López J. Melinda (1989). *Producción de claveles y gladiolos*. Agroguías Mundi Prensa 114 p.
- Marschener Horst. (1986). *Mineral nutrition of Higher Plants*. Academic Press. USA. 674 p.
- Mengel K., E. A. Kirkby. (1987). *Principles of Plant Nutrition*. Internacional Potash Institute. Bern: Inst. Potash. 687 p.
- Mills H.A., B. Jones (1996). *Plant Analysis handbook II*. Miicro-Macro Publishing Inc. Georgia, USA. 37-98 pp.

- Mood, A. y Graybill, F. (1978). *Introducción a la Teoría de la Estadística*. Editorial Aguilar. Madrid, España. 536 pp.
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de Análisis Multivariante de datos*. Prentice Hall. Madrid, España. 646 p.
- Posadas S. Francisco.( 2004). *II Máster de Nutrición Vegetal en Cultivos Hortícolas Intensivos*. Módulo XXXIV: Ornamentales: cultivo en suelo y en hidroponía.
- Pineda, P. J., Herrera G. J. V. (1988). Evaluación de la clorosis férrica en seis variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) bajo condiciones de edáficas. Tesis profesional, Depto de Suelos, UACH, Chapingo México.
- Resh H. M.(2006). *Cultivos Hidropónicos* 5ª edición. Ed. Mundi Prensa Libros. México,
- Ronald Ferrera Cerrato, Alarcon Alejandro. (2007). *Microbiología Agrícola*. Trillas, México 302 p.
- Rodríguez S.F. (1982). *Fertilizantes*. Ed.AGT Editor S.A. D.F, México. 68- 145 pp.
- Sánchez de Lorenzo Cáceres J.M. (2001). *Guía de plantas ornamentales*. Mundi Prensa. Madrid. 685 p.
- Salisbury, B. F. (1994). *Fisiología Vegetal*. Grupo editorial Iberoamericana, México. p. 141-148.
- Salisbury Frank B., Ross Cleon W.(2000).*Fisiología de las Plantas 3, Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Paraninfo. España.248 p.
- Tisdale L.S., Nelson L.W. (1988). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Montaner y Simon. S.A. Barcelona, España. 67-89 pp.
- Tisdale, S. L., Nelson W. L, Beaton J. D y J. L Havlin. (1993). *Soil fertility and Fertilizers*. Ed Macmillan, Publishing Co.

Vidalie H. (2001). *Producción de flores y plantas ornamentales*. Mundiprensa. España.198 p.

Villanueva, O. B. y Ortiz, S. C. A. (1990). *Edafología*. 7a Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de suelos. p. 197-213.

Wild A. (compilador) (1988). *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Rusell*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 78-145 pp.

Walworth J.L., M.E. Summer. (1991). *Foliar diagnosis and recommendation integrated system*. Micro Macro Publishing Inc.Athens, Ga.: 1991, pp 1-70

## 7. ANEXOS

### Análisis de varianza

Se presentan las diferencias para los tratamientos que representan a los estados con relación a los contenidos de macro-elementos en hoja de gladiolo, para los nutrimentos fósforo y calcio existen diferencias significativas entre los tratamientos. Las diferencias que arrojó el ANOVA se atribuyen a los tratamientos, que representan a los cinco estados de la república. Más adelante en la sección de pruebas de hipótesis se profundiza la discusión de algunos de los nutrimentos más relevantes con relación a la diferencia entre tratamientos.

Anexo 1. Análisis de varianza de macro-elementos en hoja de gladiolo en cinco estados de México.

Variable	FV	GL	SC	CM	P-value	Significancia
Nitrógeno	Trat (Edo)	4	0.65642253	0.16410563	0.1374	NS
	Error	21	1.75584286	0.08361156		
	Total	25	2.41226538			
Fósforo	Trat(Edo)	4	<b>0.59198300</b>	<b>0.14799575</b>	<b>0.0011</b>	<b>S</b>
	Error	21	<b>0.45544644</b>	<b>0.02168793</b>		
	Total	25	<b>1.04742944</b>			
Potasio	Trat(Edo)	4	0.86332888	0.21583222	0.3148	NS
	Error	21	3.58149870	0.17054756		
	Total	25	4.44482758			
Calcio	Trat (Edo)	4	<b>1.21339149</b>	<b>0.30334787</b>	<b>0.0172</b>	<b>S</b>
	Error	21	<b>1.66112962</b>	<b>0.07910141</b>		
	Total	25	<b>2.87452111</b>			
Magnesio	Trat (Edo)	4	0.04359608	0.01089902	0.5633	NS
	Error	21	0.30142013	0.01435334		
	Total	25	0.34501620			

Al evaluar los resultados del ANOVA de micro-nutrientes en hoja de gladiolo en los distintos estados, se observa en el cuadro 3 que, no existen diferencias de los contenidos de hierro, manganeso, boro, zinc y cobre en hoja de gladiolo. No obstante, hay que referirse a los valores promedio medidos en rangos de suficiencia para establecer del diagnóstico su posible deficiencia o toxicidad. De igual modo se discute el impacto fisiológico de algunos del micro-elemento en gladiolo asociando su presencia o déficit en el *continuum* de raíces hacia hoja de gladiolo.

Anexo 2. Análisis de varianza de micro-elementos en hoja de gladiolo en cinco estados de México.

Variable	FV	GL	SC	CM	P-value	Significancia
Hierro	Trat (edo)	4	5816350.67	1454087.67	0.5130	NS
	Error	21	36179135.34	1722815.97		
	Total	25	41995486.01			
Manganeso	Trat(edo)	4	4359607.75	1089901.94	0.5633	NS
	Error	21	30142012.67	1435333.94		
	Total	25	34501620.42			
Boro	Trat(edo)	4	1187.405491	296.851373	0.1603	NS
	Error	21	3402.307405	162.014638		
	Total	25	4589.712896			
Zinc	Trat(edo)	4	1232.670726	308.167682	0.5051	NS
	Error	21	7544.394827	359.256897		
	Total	25	8777.065554			
Cobre	Trat(edo)	4	3057.20278	764.30070	0.1275	NS
	Error	21	7922.97326	377.28444		
	Total	25	10980.17605			

Anexo 3. Contenido promedio de macro y micronutrientes en raíz y hoja de gladiolo en 5 estados productores en México

	N, %		P, %		K, %		Ca, %		Mg, %	
	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja
Puebla	1.27	3.14	0.17	0.20	0.93	1.93	0.64	0.45	0.38	0.32
Guerrero	1.16	3.56	0.30	<b>0.67</b>	0.86	2.11	0.62	0.89	0.39	0.39
Morelos	1.25	3.09	0.37	0.32	1.38	1.59	0.88	0.56	0.47	0.35
Michoacán	1.25	3.26	0.17	0.33	1.07	2.07	0.57	0.94	0.33	0.25
México	1.28	3.34	0.18	0.45	0.92	1.97	0.44	0.95	0.31	0.31
Promedios	1.24	3.28	0.24	0.39	1.03	1.93	0.63	0.76	0.38	0.32
Rango		2.9-5.0		0.4-0.6		2.5-4.0		.45-.50		.20-.40

	Fe, ppm		Mn, ppm		B, ppm		Zn, ppm		Cu, ppm	
	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz	Hoja
Puebla	7129.75	121.44	172.84	41.97	95.36	46.71	49.49	33.52	21.29	7.29
Guerrero	5482.32	237.50	227.60	165.66	71.07	64.22	36.71	41.13	14.50	16.22
Morelos	8644.92	284.87	134.24	66.69	57.15	59.43	66.46	47.32	21.92	9.57
Michoacán	9189.40	235.47	322.31	174.81	58.86	61.80	48.57	46.73	20.48	42.61
México	4598.18	405.81	140.64	195.01	59.98	63.65	33.64	52.07	13.37	9.78
Promedios	7008.91	257.02	199.53	128.83	68.48	59.16	46.97	44.15	18.31	17.09
Rango		80-200		40-120		25-80		20-70		8-15

**Esta tesis fue realizada con el apoyo del proyecto CONACYT-SAGARPA-COFUPRO, convocatoria 2005-1 y folio 11982 “Diagnóstico Nutricional de Sistemas de Producción de Ornamentales de Flor de Corte y Follaje”.**