



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**Estimación de los niveles de concentración de elementos metálicos en Gordolobo Mexicano, Flor (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana, Flor (*Heterotheca inuloides* Cass).**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO FARMACEÚTICO BIÓLOGO

PRESENTA:

**EDWIN RAÚL ANAYA SOSA**

M. en C. Lourdes A. Castillo Granada  
**Director**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de  
Espectroscopia L-328 y Laboratorio L-314, Campus II  
de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM**

## *AGRADECIMIENTOS*

A mi directora de tesis M. en C. A. Lourdes Castillo Granada por las facilidades, experiencias, conocimientos y consejos otorgados no solo para la elaboración de este trabajo sino también para el desarrollo de mi vida profesional e incluso personal. Espero me permita seguir siendo su alumno y confío en seguir contando con su amistad.

Al Dr. Isaias Salgado Ugarte por la asesoría brindada en el Análisis estadístico, a través del cual se pudo culminar este trabajo.

Al M. en C. Efraín Ángeles Cervantes por su colaboración en la clasificación de las especies de plantas estudiadas.

A mis sinodales por las sugerencias y tiempo prestado para la revisión de este trabajo.

A todos los profesores que me transmitieron sus conocimientos e influyeron en mi formación de Químico Farmacéutico Biólogo.

## *DEDICO EL PRESENTE TRABAJO*

A Dios por permitirme ser parte de este mundo.

Primeramente a mis padres el Sr. Alejandro Anaya Campos y la Sra. Alejandra Sosa Rojas, por darme amor, comprensión, apoyo económico, consejos, regaños, a través de los cuales, logré concluir una de mis metas, mi carrera profesional, la cual significa para mi la mejor de las herencias. Ni con lo más ostentoso de este mundo, encontraría la forma de pagarles todos los esfuerzos depositados en mí, pero sirva este trabajo como una de las tantas satisfacciones que ustedes merecen.

A mis hermanos Marco Antonio Anaya Sosa y Maria del Carmen Anaya Sosa por su ayuda que me han brindado, por haber pasado los mejores momentos de mi vida a mi lado y por ser la parte más esencial de mi entorno familiar.

A mi sobrina Dafne por contagiarme con su alegría y haber llegado a nuestras vidas.

A abuelos, tíos y primos por alentarme a seguir adelante. En especial a César Rodríguez Anaya por darme su apoyo y cariño siempre que lo he requerido.

A Maria Luisa Flores Ramírez, quien desinteresadamente me ha permitido ser parte de su vida; dándome su amistad, confianza, comprensión, amor, ternura, tranquilidad, fidelidad, y porque ha influido para que mis sueños se realicen.

A mi compadre Enrique Lima Espinoza; ya que siempre me ha otorgado amistad, respeto, lealtad, aprecio y ayuda; porque juntos hemos pasado carencias, esfuerzos, regaños, ideales, felicitaciones, satisfacciones y muchas aventuras.

A mis grandes amigos Enrique Lima, José Nóvalés, Leonardo Cruz, Guillermo, Héctor Ramírez, José Morán, Joaquín Ignacio, Franchelia Daniel y Norma Cano, debido a que todos formamos un gran equipo; ya que me transmitieron conocimientos e inteligencia; me regañaron cuando lo amerité, me dieron su apoyo y si la FES-Zaragoza hablara, cada rincón de ella tendría una historia que contar para cada uno de nosotros. Por todo ello gracias, por la amistad que hemos construido y la cual nos seguirá uniendo, hermanos.

Ofrezco una disculpa a las personas que colaboraron conmigo y fueron omitidas, pero estas páginas tienen un fin, y no son interminables como yo anhela que fueran para dedicarles algunas letras.

## ABREVIATURAS

mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	Metros
FHEUM	Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos
ZEBS	Zentrale Erfassungs und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien
µg	Microgramos
mL	Mililitros
°C	Grados Centígrados
mg	Miligramos
g	Gramos
Kg	Kilogramo
Cu	Cobre
Zn	Zinc
Fe	Fierro
Ni	Niquel
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Mn	Manganeso
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
K	Potasio
Al	Aluminio
B	Boro
Ba	Bario
Be	Berilio
Cd	Cadmio
Cs	Cesio
F	Flúor
Li	Litio
Pb	Plomo
Sr	Estroncio

At	Astato
Hg	Mercurio
Se	Selenio
Si	Silicio
Mo	Molibdeno
I	Yodo
N	Nitrógeno
S	Azufre
P	Fósforo
Cl	Cloro
Å	Angström
G. A.	Grado Analítico
m. Å.	Miliamperios
n.m.	Nanometros
C. V.	Coefficiente de Variación
r	Coefficiente de correlación
r <sup>2</sup>	Coefficiente de determinación
≥	Mayor o igual a
≤	Menor o igual a





---

1.4. INSTRUMENTACIÓN	32
1.4.1. FUENTE DE RADIACIÓN	33
1.4.2. INTRODUCCIÓN DE LA MUESTRA: SISTEMA NEBULIZADOR-QUEMADOR	34
1.4.3. MONOCROMADOR	34
1.4.4. DETECTOR	35
1.4.5. PROCESADORES DE SEÑAL	35
1.5. LEY DE LAMBERT- BEER	36
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>38</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>39</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL.	39
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
<b>4. HIPÓTESIS</b>	<b>40</b>
<b>5. MATERIAL Y EQUIPO</b>	<b>41</b>
5.1. MATERIAL.	41
5.2. REACTIVOS	41
5.3. SOLUCIONES	41
5.4. INSTRUMENTOS	42
5.5. EQUIPO	42
5.6. POBLACIÓN DE ESTUDIO	43
<b>6. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>44</b>
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>46</b>
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>86</b>
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>104</b>
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>

<b>11. ANEXO 1</b>	106
<b>12. ANEXO 2</b>	108
<b>13. BIBLIOGRAFÍA</b>	115

## INTRODUCCIÓN

El empleo de medicamentos resulta tan familiar y necesario, que nunca reflexionamos sobre su importancia en nuestras vidas. Por un momento imaginémos ¿cómo sería nuestra sociedad sin medicinas?. Tal vez, la mayoría de las personas morirían rápidamente. Es probable que una situación semejante prevalecía sobre la faz de la tierra cuando los hombres comenzaron a habitarla, Sin embargo lograron sobrevivir a muchas enfermedades, pudieron estudiar la naturaleza y descubrieron muchas sustancias para combatirlas; especialmente el hombre primitivo de Mesoamérica resolvió de manera empírica y con su fe religiosa, los problemas de salud y las enfermedades que padeció. Entremezclaba lo religioso y lo mágico en su afán para alcanzar la salud y el bienestar. Fue así, que al asociar algunas hierbas en un ritual mágico-religioso nació la farmacia, no en el sentido estricto y científico, sino como una forma de curación y purificación (Islas y Sánchez, 1992).

Actualmente, el costo elevado de los medicamentos y los efectos colaterales indeseables que estos provocan, han justificado el uso de plantas medicinales por gran parte de la población. Por consiguiente médicos y farmacéuticos están viviendo el fenómeno de la “onda verde” también en el campo del medicamento. La demanda de preparados a base de drogas vegetales ha registrado un incremento en estos últimos años (Cañigüeral et al., 1998).

¿Cuándo se usan las plantas medicinales? Es una pregunta que se escucha a menudo. Existen diferentes indicaciones para utilizar esta medicina alternativa. En algunas ocasiones se usan sólo para enfermedades leves y que no representan ningún problema mayor. Hay quienes las usan cuando el medicamento farmacéutico no les dio resultado o para controlar los efectos secundarios producidos por estos. En algunas ocasiones, mezclan los preparados de herbolaria con los productos farmacéuticos, hecho que cada día se generaliza más (Linares, 1990).

La abundancia y diversidad en México de la flora medicinal, fue reconocida desde la época precortesiana. Durante las jornadas mismas de la conquista, los españoles se percataron de la presencia y eficacia de la medicina nativa. Las plantas medicinales de México fueron pronto objeto de comercio hacia Europa, y han motivado desde

entonces numerosas y diversas investigaciones en varias de sus facetas. Sin embargo, su aplicación empírica ya llevaba implícita desde antes de la conquista un profundo saber, resultado de una investigación sistemática desde la perspectiva de las ciencias autóctonas hoy desdibujadas (FHEUM. SSA. 2001).

El propósito del control de calidad es asegurar que cada unidad de la dosificación del producto de droga proporcione la misma cantidad de ingredientes activos y que se encuentre libre de contaminación. Como los productos medicinales herbolarios son una mezcla compleja de diversos compuestos, es necesario realizar grandes esfuerzos para garantizar una constante y adecuada calidad. Seleccionando cuidadosamente el material de la planta y siguiendo un proceso de manufactura estandarizado, la clase y concentración de constituyentes en el producto herbolario debe mantenerse tan constante como sea posible, para que los resultados terapéuticos sean reproducibles (Busse, 2000).

Sin embargo, debido al acelerado progreso en la tecnología, se han desencadenado al igual que grandes beneficios para el hombre, enormes desventajas para la salud. La eficacia y seguridad de cualquier producto farmacéutico son determinadas por los compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen. Debido a la contaminación del aire y agua, las plantas, entre ellas las medicinales pueden llegar a tener contaminantes como los metales pesados. Estos metales pueden llegar a ser considerados de alto riesgo para la salud debido a su tendencia a acumularse y producir intoxicaciones crónicas y agudas, resultando por consecuencia alternativas menos seguras. Por lo que resulta importante la identificación y cuantificación de metales en plantas medicinales que generalmente se emplean para el consumo humano (Barceló y Poschenrieder, 1989).

En el presente trabajo se determinaron cuantitativamente los elementos cobre, zinc, hierro, calcio, magnesio, manganeso, cobalto, sodio, potasio, cromo y níquel presentes en Gordolobo Mexicano, (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana (*Heterotheca inuloides* Cass), empleando la técnica de Absorción y de Emisión Atómica con flama para tener un conocimiento más amplio en cuanto a la concentración de estos elementos en las plantas medicinales ya mencionadas.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. PLANTAS MEDICINALES**

#### **1.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

No se sabe cuando los hombres encontraron por primera vez remedios eficaces para curarse de las enfermedades, pero es muy probable que su uso iniciara antes del nacimiento de la agricultura. Lo cierto es que ya en los primeros escritos figuran remedios para combatir las enfermedades y que estos eran fundamentalmente a base de plantas, de manera sistemática se fueron probando los remedios herbolarios y cada vez se les fue despojando de rituales supersticiosos que acompañaban a su aplicación (Rivas y Soriano, 1984). A lo largo de la historia, el hombre ha visto la necesidad de proveerse de un gran cúmulo de conocimientos para poder vivir en equilibrio con el ambiente que lo rodea. Se hizo experto en ciertas áreas del saber y las aplica para su beneficio. En los inicios de la farmacia, fue necesario apoyarse con hierbas y plantas en las técnicas religioso-curativas y al restablecerse la salud del enfermo se fortaleció su uso (Islas y Sánchez, 1992). La moderna industria farmacéutica nació fundamentalmente del conocimiento de la composición química de los productos en los que residen las propiedades curativas de las plantas. Una vez conocida su composición, se puede obtener el principio activo o moléculas similares en el laboratorio (Rivas y Soriano, 1984).

##### **1.1.1.1. Uso en México**

En lo referente al saber médico, los antiguos pobladores de México poseían técnicas similares a las de otros pueblos del resto del mundo con cultura semejante. Los hombres que habitaron la altiplanicie mexicana hace 8 000 años se enfrentaron a toda clase de peligros y es lógico suponer, que en muchos casos su salud resultaba afectada. La enfermedad era una situación a vencer en su constante lucha por sobrevivir. La respuesta ante el fenómeno de la enfermedad se basaba en concepciones sobrenaturales, mágicas y religiosas. Después innovaron remedios intuitivos para curar, donde mezclaban ritos, plantas y otras sustancias. Los estudios

antropológicos realizados sobre esa época, indican la prevalencia de algunas enfermedades tal como las padecemos actualmente y la existencia de remedios específicos contra ellas. Sin embargo, el esbozo de un verdadero arte curativo, se encuentra en las culturas preclásicas de México. Las culturas que poblaron hace 1500 años la altiplanicie mexicana, concebían la enfermedad como un reflejo por desobediencia social en cuanto a deberes y lealtades religiosas, teniendo de ellas una concepción mítico-religiosa. Las culturas preclásicas del altiplano mexicano, conocían y tenían definidas algunas enfermedades y también el proceso de curación.

Por lo que en la sociedad empezaba a diferenciarse y podía distinguirse a los magos, sacerdotes y hechiceros en estratos sociales. Al encontrar estos grupos dentro de una sociedad, es inevitable atribuirles funciones de curandería, que en todas las sociedades primitivas estuvieron asociadas y mezcladas con la jefatura del grupo y dirección religiosa. Es entonces cuando podemos identificar las huellas del incipiente farmacéutico en Mesoamérica, quien en un principio pudo ser el hechicero o mago que preparaba pócimas para curar, dañar o simplemente al mezclar hierbas y plantas durante el ritual mágico practicado en el proceso curativo de los enfermos. Mago, hechicero, médico, sacerdote y farmacéutico se fundían en una sola persona, ya que en la práctica, el arte de aliviar los sufrimientos del paciente se asociaba con la preparación de sustancias, aunado a los rituales mágicos y al tratamiento empírico. Una planta, una tintura, un poco de agua o la simple mano puesta sobre la zona herida, fueron los primeros remedios usados por los antiguos pobladores de Mesoamérica. Mas tarde, la interminable serie de ensayos, errores y aciertos de prácticas mágico-religiosas y de tenaces intentos para descubrir plantas útiles durante la curación de los enfermos, conformaron una amplia gama de conocimientos farmacéuticos que darían sus frutos al heredarlos a culturas posteriores (Islas y Sánchez, 1992).

A mediados del siglo XVI, cuando el médico indígena Martín de la Cruz escribía, o dictaba, sus conocimientos terapéuticos, no podía pensar en la enorme trascendencia que cuatro siglos más tarde tendrían aquellas notas redactadas en Náhuatl, en partes deshilvanadas y como producto de la experiencia y la práctica de muchos años. Su libro, *Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis*, (nombre modesto y exacto con que lo bautizó su traductor del náhuatl al latín el indio xochimilca Juan Badiano), este

manuscrito ha resultado ser el primer escrito conocido sobre medicina indígena mexicana que se produce después de la conquista, y aunque ya tiene marcada influencia europea, hoy constituye la fuente más asequible, y pura, para conocer cómo era la medicina que practicaban los aztecas (Aragón y Leyva, 1945).

El uso de plantas medicinales no es algo nuevo, es una herencia de las culturas indígenas, lo que hace que en México sea tan común el uso de las plantas medicinales por parte de la población para afrontar los malestares cotidianos. La atracción en ascenso por el uso de las plantas medicinales en México, y también su creciente promoción mercantil, no son privativas del país, sino común en diversas regiones del mundo, es un momento en el cual ciertos núcleos de población de diferentes estratos sociales expresan la necesidad de alternativas naturales de tratamiento médico. El interés desmesurado tiene implicaciones sanitarias, las cuales forman parte de factores que han orillado a las autoridades a generar regulaciones, como parte de un esfuerzo que pretende ser progresivo y compartido con diversas instituciones. Se reporta que de las plantas utilizadas empíricamente en México, las introducidas luego de la Conquista llegan a ser más de la mitad del total de plantas en uso actual (FHEUM. SSA. 2001).

### **1.1.2. GORDOLOBO MEXICANO, FLOR**

**Nombre Científico:** *Gnaphalium semiamplexicaule* DC.

Consiste de las flores desecadas de varias especies del género *Gnaphalium*. Familia *Asteraceae*. Entre algunas tenemos a *G. semiamplexicaule* DC; *G. oxyphyllum* DC; *G. conoideum* HBK; *G. viscosum* HBK. Y otras especies del género que cumplan con las especificaciones.

**Descripción Macroscópica:** Inflorescencia corimbosa, paniculada o paniculado-corimbosa; cabezuelas estrechamente cilíndricas a cilíndricas de 3 mm a 5 mm de largo y 2 mm a 4 mm de diámetro, lanosas en la base, con 3 a 4 series de brácteas siendo en total 16 a 24 brácteas, de color blanquecino o amarillo limón, lustrosas; 3 a 5 flores hermafroditas y 15 a 36 femeninas; corola blanca o blanco-verdosa con el ápice café o amarillo; aquenios oblongos u obovados, de 0.6 mm a 0.8 mm de largo y 0.3 mm de ancho, de color café ambarino, medianamente comprimidos, papilados y



finamente estriados; cerdas del vilano blancas desprendiéndose del aquenio libres entre sí. Presentan olor aromático y sabor ligeramente amargo (FHEUM. SSA. 2001).

### 1.1.3. ÁRNICA MEXICANA, FLOR.

**Nombre científico:** *Heterotheca inuloides* Cass.

Consiste principalmente de las flores, aunque también se usan las hojas y tallos de *Heterotheca inuloides* Cass. Familia *Asteraceae*.

**Descripción Macroscópica:** Hierba de hasta 1,0 m de altura; tallos erectos, estriados con pubescencia piloso-híspida, una porción de los pelos glandulosos; hojas simples, alternas, pilosas, margen entero a aserrado; flores en cabezuelas, sobre pedúnculos hasta 8 cm. de largo; receptáculo plano o casi plano de unos 2 cm. de ancho, desnudo; involucre anchamente campanulado a hemisférico, brácteas numerosas, lineales a subuladas, graduadas con las exteriores más cortas, las interiores de 9 cm. a 13 mm de largo, piloso-híspidas, flores dimorfas, simpétalas, de color amarillo; las periféricas femeninas, de 25 a 40 ligulas, de 8 mm a 15 mm de largo; las del disco bisexuales, de 40 a 150; aquenios dimorfos, los de las flores liguladas triquenios, de 2 mm a 4 mm de largo, glabros o poco pubescentes, vilano ausente o en forma de corona breve; los de las flores del disco obovados u oblanceolados, de 2 mm a 5 mm de largo, seríceos, cerdas o escamitas exteriores de 0.3 mm a 0.6 mm de largo, cerdas interiores del vilano de 4 mm a 7 mm de largo, blanquecinas o rojizas. El Árnica mexicana, posee un olor débil y un sabor amargo.

**Descripción Microscópica:** En el examen al microscopio del Árnica mexicana, se observa que el involucre está formado por dos series de brácteas; éstas son multiseriadas, imbricadas, angostas y sub-esacariosas en el margen; las brácteas exteriores son más pequeñas, lineales, acuminadas y se encuentran cubiertas de pelos simples (al igual que los pedúnculos); también se pueden observar pelos glandulosos capitados más pequeños y escasos que los simples. El receptáculo está cubierto de sedas finas, es plano y alveolado; ligulas tridentadas, vilano uniseriado y de color rojo; pelos exteriores cortos y sedosos, en tanto que los interiores son largos y subescariosos.

**Conservación:** A temperatura ambiente, en envases cerrados, sacos o costales protegidos de la luz y la humedad (FHEUM. SSA. 2001).

**Otros nombres vulgares:** Acahual, falsa Árnica, cuauteteco.

**Nombre Botánico:** *Heterotheca inuloides* Cass. Familia de las Compuestas.

**Lugares donde vegeta:** Valle de México, San Luis Potosí, Aguascalientes, Chihuahua, Veracruz, Nayarit, Hidalgo, Oaxaca. Florece en agosto y septiembre.

**Composición química:** Contiene resina, clorofila, materia colorante amarilla, aceite esencial, tanino, ácido gálico, ácido oxálico, goma, almidón, un principio amargo, materia grasa, vestigios de aceite esencial y diversas sales, arcinina (un alcaloide) y en análisis más recientes se ha encontrado citicina.

**Usos:** El cocimiento se aplica en las contusiones.

**Acción fisiológica:** Se han experimentado diversos preparados en los animales, pero no se produjo ningún efecto digno de mencionarse.

**Usos terapéuticos:** Se usa en forma de tintura alcohólica, aplicada tópicamente sobre las contusiones; pero al parecer sin tener los mismos buenos efectos que con el Árnica (Árnica montana) de Europa (Martínez, 1967).

El Árnica Mexicana tiene aplicaciones muy similares a las del Árnica europea (Árnica Montana), que es la especie comúnmente más utilizada en Europa y los Estados Unidos. La Árnica europea y mexicana pertenecen a la familia de la margarita o del girasol, aunque sus principios activos no son del todo iguales. Los ungüentos y las lociones hechos de esta planta se utilizan para tratar contusiones, esguinces, reumatismo, las venas del varicose, y las infecciones diversas de la piel debido a las bacterias y a los hongos. Los ingredientes activos en esta planta tienen acciones antiinflamatorias, analgésicas, y antisépticas suaves.

#### **1.1.4. CONTAMINACIÓN DE PLANTAS MEDICINALES**

Las condiciones en las que crecen las plantas, incluidas las medicinales, ejercen sobre ellas múltiples influencias, las cuales pueden provocar una disminución en la calidad de las drogas vegetales debido a la presencia de elementos potencialmente nocivos, como puede ser:

- Invasión por microorganismos.
- Contaminación por metales pesados.
- Contaminación por plaguicidas.

Estos contaminantes, al menos en parte, permanecen cuando la planta es desecada y deben ser objeto de particular atención por motivos sanitarios y toxicológicos.

En el campo de los productos alimenticios, toda esta problemática se conoce desde hace mucho tiempo y existe la legislación y reglamentación correspondiente. Sin embargo, en el campo de las plantas medicinales hace relativamente pocos años que se presta atención a estos temas (Cañigüeral et al., 1998).

#### **1.1.5. REGULACIÓN DE METALES PESADOS**

En los últimos años se han demostrado repetidamente contaminaciones ambientales por plomo, cadmio, mercurio y arsénico, que han sido tema de numerosos informes. En general, se toman como referencia los límites establecidos por la Zentrale Erfassungs und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien, (ZEBS), organización alemana que tiene como función la valoración y seguimiento de la presencia de productos químicos en el ambiente.

En España, la reglamentación técnico-sanitaria de especies vegetales para uso en alimentación (Real Decreto 3/76/1983 de 16 de Noviembre), señala un límite máximo de  $3 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  de arsénico y  $13 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  de plomo para los productos relacionados en el mismo, mientras que para los regulados por la reglamentación técnico-sanitaria de condimentos y especias (Real decreto 2242/84 de 26 de Septiembre) dichos límites son  $3 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  de arsénico y  $10 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  de plomo (Cañigüeral et al., 1998).

En México la Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos dependiente de la Secretaría de Salud en un intento por regular la calidad de las plantas medicinales ha emitido la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos en donde se establecen el límite máximo permisible para plomo, arsénico y cadmio y deja sin regulación los demás elementos metálicos.

#### **1.1.6. RECOLECCIÓN DE LAS PLANTAS MEDICINALES**

En los campos de cultivo de las grandes industrias farmacéuticas se recogen las plantas en el momento en que el contenido de principios activos está en su punto óptimo. Se elige un día soleado para facilitar el secado, pues debe realizarse a una temperatura de 40-60°C.

Las flores deben recogerse recién abiertas, antes de que los insectos las hayan invadido. Secarlas rápidamente sobre un papel limpio. Si se desea que conserven el color deben colocarse en un lugar oscuro.

Las cortezas y las raíces deben ser lavadas y limpiadas de tierra y, luego, partidas. Es mejor elegir plantas jóvenes.

#### **1.1.7. PREPARACIONES DE LAS PLANTAS MEDICINALES**

Tisanas: Existen tres procedimientos de preparación:

- Maceración. Es una extracción acuosa realizada a temperatura ambiente por un periodo de 2 a 12 horas.
- Maceración-decocción. Para partes vegetales duras y tiernas, es indicado ponerlas en maceración antes de cocerlas.
- Infusión. Se vierte agua hirviendo sobre las plantas en un recipiente de cierre hermético a fin de evitar la pérdida de aceites volátiles. Se deja en reposo de 5 a 15 minutos y se filtra.

Decocción. Consiste en hacer hervir las plantas de 5 a 20 minutos. Si las plantas están finamente divididas, con cinco minutos de cocción es suficiente, si son duras o leñosas, es necesario veinte minutos para obtener un buen extracto, sobre todo si se han sumergido previamente en agua fría y luego se deja que lleguen lentamente a la ebullición. No conservar las decocciones más de doce horas.

Extracto. Son maceraciones acuosas o alcohólicas que se concentran más o menos por evaporación: de esta manera se obtienen extractos fluidos, espesos o sólidos. Las tisanas instantáneas en tubos son extractos espesos y pastosos. Las que se venden en polvo son extractos secos (liofilizados).

Tintura. La tintura se obtiene por inmersión prolongada de una planta fresca o seca en alcohol diluido. Las proporciones son generalmente de una parte de la planta pulverizada o triturada por cinco partes de alcohol al 70 %. Se deja macerar en un recipiente bien cerrado de 2 a 6 días, según los casos. Y luego se prensa y se filtra el líquido.

Jarabe. Los extractos de plantas se añaden a un jarabe de base (por ejemplo: jarabe simple, que es una disolución de 200 g de azúcar en 100 g de agua caliente).

Jugo fresco. El jugo fresco se obtiene a partir de plantas frescas trituradas y prensadas. En los comercios especializados se encuentran diferentes tipos de prensas. El jugo obtenido se pone en un lugar durante un día para que repose y luego se filtra.

Polvo. Las plantas secas se cortan finamente y luego se pulverizan en un mortero. Estas plantas simples o en mezclas se venden en bolsitas para hacer tisanas que no tienen necesidad de ser filtradas. Algunos enfermos toman el polvo de las plantas directamente sobre la lengua o lo mezclan con los alimentos (Linares, 1990).

### 1.1.8. CONSERVACIÓN

Algunos factores básicos a considerar para la conservación las plantas, tanto antes de la venta como por parte del consumidor, son: luz., temperatura, humedad ambiental, grado de trituración, almacenamiento y caducidad de las drogas.

Luz. La exposición a la luz provoca una rápida decoloración y un deterioro general del aspecto de las plantas medicinales, acelera numerosas reacciones químicas que pueden conducir a la alteración o a la descomposición de los principios activos.

Temperatura. Por cada 10 °C, que aumenta la temperatura, se duplica la velocidad de reacción química y disminuye rápidamente el contenido de sustancias volátiles (aceites esenciales), por lo tanto se deben conservar en un ambiente fresco.

Humedad ambiental. Por una parte puede estimular la actividad enzimática, sobre todo de las glucosidasas, y dar lugar a la descomposición de algunos principios activos. Por otra parte, aumenta la probabilidad de que se produzcan ataques de mohos u otros microorganismos. Es conveniente conservar la planta medicinal en ambientes con una humedad relativa inferior al 60 %.

Grado de trituración. Una planta medicinal muy triturada, tiene mucho más superficie expuesta a la acción de los diversos factores que pueden causar su alteración.

Almacenamiento. Se deben almacenar en recipientes resistentes a la humedad y a la luz. Cuando son necesarias condiciones anhidras, se pone la indicación de: “con un desecante adecuado” (por ejemplo para la flor de verbasco).

Para algunas raíces de plantas medicinales, en la Farmacopea Austriaca (OAB), se encuentra la indicación “protegida del ataque de insectos”, se trata de plantas desinfectadas previamente con vapores de cloroformo, seguidas de aireación. Este procedimiento, a pesar de diversas críticas, (debidas al empleo de un hidrocarburo clorado tóxico) resulta, para algunos, difícilmente sustituible (Cañigüeral et al., 1998).

Para la conservación de las plantas medicinales en el almacén o en la farmacia son adecuados los botes de hojalata, con la condición de que cierren herméticamente.

Caducidad de las drogas. Son todavía pocos los estudios sobre la estabilidad de las plantas medicinales. De cualquier manera, es aconsejable que el farmacéutico sólo compre drogas procedentes de la última recolección y se abastezca sólo de la cantidad que prevé que pueda emplear hasta la siguiente recolección (Cañigüeral et al., 1998).

### **1.1.9. ELEMENTOS METÁLICOS**

Los elementos que se encuentran con mayor abundancia en las plantas son carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Otros elementos están presentes, y se califican colectivamente como elementos minerales. Son cuando menos 25 los minerales que se encuentran presentes en cantidades extremadamente pequeñas, y que pueden llegar a formar parte de nuestro organismo. Se sabe que cuando menos 16 de estos son esenciales para la vida y deben estar presentes en la dieta.

Los elementos minerales son usados por el organismo en una gran variedad de maneras. Forman parte de la estructura rígida (es decir, del esqueleto), o están presentes en los fluidos celulares y fluidos corporales.

La ingestión promedio diaria de minerales debe diferenciarse del requerimiento diario promedio, y sólo una parte de lo que se ingiere es absorbido y utilizado. Los elementos como sodio, potasio y cloro, que forman sales solubles, son absorbidos fácilmente. Otros, como hierro, calcio, magnesio y zinc pueden formar compuestos insolubles que son absorbidos con menor facilidad.

#### **Calcio**

El calcio junto con el fósforo, representa cerca del 75 % de los elementos minerales que se encuentran en el organismo, y ambos llevan a cabo varias funciones esenciales (Fox y Cameron, 2002).

Casi todo el calcio y el 85 % del fósforo se hallan en hueso y dientes como fosfato de calcio,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , o como su sal básica: hidroxiapatita,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ .

La pequeña cantidad (cerca de 1 % o 5 a 10 g) que no se utiliza para la formación de los huesos o los dientes, se halla en la sangre y los fluidos del organismo en forma de iones o combinada con las proteínas. Así mismo, participa en la contracción muscular (incluyendo el mantenimiento de un ritmo cardiaco regular), la coagulación de la sangre y la actividad de varias enzimas importantes. La concentración de este elemento en la sangre se mantiene constante por la actividad de las hormonas por las glándulas tiroides y paratiroides. Demasiado o muy poco en la sangre altera notablemente la función de las fibras musculares y las células nerviosas.

Una parte del elemento absorbido de la dieta se pierde subsecuentemente en la orina y una cantidad menor se pierde en el sudor. Dichas pérdidas deben componerse a fin de mantener la concentración de iones en la sangre a un nivel aproximadamente 10 mg por 100 mL. Si las fuentes dietéticas resultan insuficientes, la cantidad requerida se toma de los huesos, y si esta situación continúa durante un largo periodo tiene lugar una considerable descalcificación.

Por lo general se tiene la tendencia a considerar los huesos como una parte fija e inmutable del organismo pero, en realidad, estos se hallan en un estado de cambio continuo. De manera constante se está formando hueso nuevo, y eliminando el hueso viejo, por intercambio de iones calcio entre el hueso y la sangre. Mientras se está llevando a cabo el crecimiento, este elemento se absorbe a una proporción ligeramente mayor que la que se pierde.

La deficiente absorción de calcio por parte de los niños pequeños puede ser causa del raquitismo, que se caracteriza por la atrofia del crecimiento y la deformación de los huesos de las piernas. Una condición similar en los adultos se conoce como osteomalacia. Esta enfermedad fue en otro tiempo común entre las mujeres cuyos huesos habían sufrido pérdida de calcio debido a repetidos embarazos (Fox y Cameron, 2002).



El elemento es absorbido por la sangre a través del revestimiento del intestino delgado cuando se une con las proteínas. En ausencia de vitamina D, no puede formarse el complejo calcio/Proteína y no tiene lugar la absorción.

## Hierro

El hierro representa alrededor del 0.1 % de los elementos minerales del organismo, la cantidad total para un adulto es sólo de 4 g. Más de la mitad de esta cantidad se halla en los glóbulos rojos, en el pigmento llamado hemoglobina, el cual transporta el oxígeno de los pulmones a los tejidos. Los glóbulos rojos tienen una vida de aproximadamente 4 meses, y se ha estimado que unos 10 millones de dichas células son retirados de la circulación cada segundo. Si el Fe contenido en dichas células saliera del organismo sería difícil sustituirlo a partir de los alimentos. Afortunadamente la mayor parte se conserva y es utilizado para formar los nuevos glóbulos rojos que se producen en la médula de los huesos. De esta manera el hierro contenido en la hemoglobina se utiliza varias veces.

Una pequeña proporción está presente en la proteína muscular llamada mioglobina; algunas enzimas celulares, como los citocromos, también lo contienen. El resto, del hierro en el organismo se almacena en el hígado, bazo y médula ósea en forma de proteínas especializadas que lo fijan, y se conocen como ferritina y hemosiderina. Estos depósitos contienen hasta 1 g en el hombre y aproximadamente la mitad de esta cantidad en las mujeres.

Por lo general, los adultos sólo absorben alrededor del 10 % del elemento de la dieta, pero los individuos que experimentan una mayor necesidad de él, como los niños en crecimiento o las mujeres embarazadas, son capaces de absorber una mayor cantidad. Son muchos los factores que afectan la proporción de la absorción, y la fuente de abastecimiento está entre ellos. El Fe en la carne o las vísceras (hierro hemo) está enlazado a compuestos orgánicos y es absorbido más rápidamente que el presente en plantas.

Si la cantidad provista por la dieta resulta insuficiente la deficiencia se compensa a partir de los depósitos de hierro que finalmente se agotan, de tal manera que la

cantidad de hemoglobina en la sangre disminuye por debajo de los niveles normales, una condición conocida como anemia (Fox y Cameron, 2002).

### Sodio y potasio

El sodio y el potasio son metales altamente reactivos. Sin embargo, en los alimentos o en el organismo, están presentes en forma de sales, como el Cloruro de sodio, NaCl, o el Cloruro de potasio, KCl. Una gran cantidad de sodio y potasio se encuentra en tejidos blandos y fluidos corporales. Los iones Na<sup>+</sup> están presentes principalmente en los fluidos extracelulares de los tejidos y el plasma sanguíneo, mientras que los de K<sup>+</sup> se hallan principalmente dentro de las células. El volumen y la presión osmótica de la sangre y los fluidos tisulares están estrechamente relacionados con las concentraciones de estos iones, los cuales son controlados con precisión por los mecanismos reguladores del organismo. La dieta corriente es rica en estos elementos y ambos son fácilmente absorbidos. Cualquier exceso es eliminado por los riñones y secretado por la orina. Así mismo, en el sudor se pierde algo de ambos elementos. Cuando se eliminan del organismo, también se pierde agua. Ambos elementos desempeñan una función muy importante en la transmisión de los impulsos nerviosos y la contracción muscular, que incluye los latidos del corazón. El potasio está presente en casi todos los alimentos, especialmente en los de origen vegetal.

Por otro lado, una ingestión diaria de 2 a 3 g debe proporcionar suficiente sodio para aquellas personas que viven en climas templados y no sudan abundantemente. Sin embargo, en condiciones extremas se pierden cerca de 50 g por día debido a la transpiración. Estos requerimientos variables hacen difícil recomendar niveles diarios de ingestión realistas e individuales.

El K<sup>+</sup> está presente en una amplia variedad de alimentos y se absorbe y se excreta con tanta facilidad que no es necesario especificar un consumo diario recomendado. La disposición de potasio en la dieta diaria es de 3 g (Fox y Cameron, 2002).

## Magnesio

El organismo humano contiene entre 20 y 25 g de magnesio, y la mayor parte de este se halla en los huesos como Fosfato de magnesio, se presenta también en forma iónica en todos los tejidos, donde participa en muchas reacciones relacionadas con la utilización de la energía.

Se encuentra en muchos alimentos. Está presente en las hortalizas verdes como parte de la molécula de clorofila, y estas suministran las dos terceras partes de magnesio. Así mismo la carne constituye una buena fuente como consecuencia de que los animales comen hierba y otra vegetación.

La deficiencia de magnesio es rara y es causada normalmente por enfermedad y no debido al bajo consumo (Fox y Cameron, 2002).

## Zinc

Un suministro adecuado de zinc es necesario para una buena salud. Este elemento forma parte de la enzima anhidraza carbónica, que se encuentra en los glóbulos rojos y contribuye a la liberación del bióxido de carbono de la sangre venosa que pasa por los pulmones, es importante como constituyente de varias enzimas e interviene en el metabolismo de las proteínas y los carbohidratos. Una prolongada escasez lleva a un desarrollo físico y mental retardado en los adolescentes.

El elemento está presente en una amplia variedad de alimentos que incluyen la carne y sus derivados, la leche, el pan y otros cereales. La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) sugiere una ingestión diaria para los adultos de 22 mg, con la salvedad de que los niños en crecimiento y las mujeres embarazadas o lactantes necesitan una mayor cantidad.

Es probable, que sólo se absorba menos de la mitad de zinc presente en los alimentos (Fox y Cameron, 2002).

### 1.1.10. OLIGOELEMENTOS O ELEMENTOS TRAZA

Además de los principales elementos ya mencionados, el organismo requiere asimismo pequeñísimas cantidades de otros elementos conocidos como oligoelementos esenciales, los que son necesarios para la vida humana. Estos elementos son: cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, Estaño, níquel, selenio y cromo. La función exacta que dichos elementos realizan no se conoce en su totalidad aunque, muchos de ellos forman parte de las moléculas de vitaminas, hormonas y enzimas. Asimismo, sólo se requieren cantidades pequeñísimas en la dieta y cualquier dieta normal contiene una cantidad suficiente para las necesidades del organismo. La Tabla 1 muestra un resumen de lo más importante sobre los oligoelementos (Fox y Cameron, 2002).

Los elementos esenciales generalmente son de peso atómico más ligero y, en consecuencia son los más volátiles de los elementos. Dichos elementos se concentraron en la superficie durante la formación de la tierra, mientras que los más pesados se concentraron en las partes profundas de ésta. La vida, al evolucionar, aprovechó la distribución de los elementos en la superficie, de ahí que muchos elementos de peso atómico ligero se volvieran esenciales (Bohn, 1993).

Los oligoelementos están particularmente asociados con la actividad de las enzimas y constituyen por lo general una parte integral de la enzima. El cobre forma parte de varios sistemas enzimáticos que incluyen la citocromo oxidasa y la tirosinasa. El cobre y todos los otros oligoelementos esenciales poseen una valencia variable, y esto les permite tomar parte en las reacciones oxidorreducción del organismo. En la citocromo oxidasa, el cobre está asociado con el hierro y cataliza los mecanismos de oxidación relacionados con la respiración de los tejidos. La tirosina está relacionada con la oxidación de la tirosina y parece ser única, en cuanto a que es capaz de catalizar la reacción aún cuando la tirosina forma parte de una proteína intacta. El manganeso activa a las enzimas fosfatasa alcalina y arginasa, las cuales intervienen en la formación de los huesos y de la urea, respectivamente.

El cobalto forma parte de la molécula de la vitamina B<sub>12</sub>, este elemento sólo es utilizable por el hombre en esta forma.

Las técnicas modernas de análisis como la fotometría de flama y la espectrofotometría de absorción atómica, que permiten determinar concentraciones de menos de 1 ppm de muchos elementos, han abierto el camino para la legislación que fija los límites para varios elementos. La capacidad de medir concentraciones de menos de 1 ppm y las mejoras en las técnicas de elaboración están haciendo posible reducir dichos límites.

La inclusión de cantidades apenas detectables de algunos elementos en los alimentos durante la elaboración, tiene un efecto adverso sobre la cantidad y este constituye una razón adicional para medir y controlar las cantidades de los oligoelementos que se incorporan de este modo a ellos (Fox y Cameron, 2002).

TABLA 1. Resumen de las características más importante de los oligoelementos.

Elemento	Requerimiento diario aproximado (adultos) mg	Contenido Corporal aproximado (adultos) mg	Fuentes alimentarias principales	Funciones en el organismo
cobalto (Co)	0,3	1,5	Hígado y otras carnes	Requerido para la formación de glóbulos rojos
cobre (Cu)	3,5	75	Hortalizas verdes, pescado e hígado	Componente de muchas enzimas. Necesario para la formación de hemoglobina
cromo (Cr)	0,15	1	Hígado, cereales, cerveza y levadura	Contenido en todos los tejidos. Es posible que intervenga en el metabolismo de la glucosa.
manganeso (Mn)	3,5	15	Té, cereales, legumbres y nueces	Forma parte de algunos sistemas enzimáticos.
níquel		Máximo 100	Vegetales	

(Fox y Cameron, 2002).

### **1.1.11. LOS METALES EN LA RELACIÓN SUELO-PLANTA**

#### **1.1.11.1. Movimientos de los microelementos hacia las raíces y absorción**

El movimiento de los microelementos se hace como el de los demás elementos nutritivos absorbidos por vía radicular, esencialmente por flujo convectivo y difusivo:

**CONVECCIÓN.** La convección o flujo de masa, es la transferencia de un ión por el movimiento del agua provocado por la succión a nivel radicular que aumenta con la transpiración de la planta. La importancia de los flujos convectivos depende sobre todo, de la concentración de los iones en la solución del suelo.

**DIFUSIÓN.** La difusión es el movimiento de los iones de un punto de alta concentración hacia un punto de baja concentración. En lo que concierne a los microelementos, una particularidad proviene de la importancia relativa de los fenómenos de quelación. Se ha visto que en la mayoría de los suelos, los metales pesados pueden encontrarse sobre todo formando complejos. El movimiento de los microelementos hacia las raíces depende en parte del movimiento de las sustancias complejas asociadas. Numerosos compuestos producidos por las raíces tienen propiedades quelatantes y pueden movilizar los microelementos y aumentar su flujo hacia las ellas. Los agentes quelatantes pueden influir en la difusión de un ión microelemento formando un ión quelatado de mayor tamaño, disminuyendo sus posibilidades de reacción con el suelo, y aumentando la concentración del ión en la solución del suelo. Cuando un ión metálico ha formado un complejo por quelación, la concentración y el gradiente de concentración del ión quelatado en solución es en general mucho más elevado que en ausencia de quelación. El movimiento del ión por difusión es por lo tanto fuertemente activado (a pesar de que el coeficiente de difusión del ión quelatado sea inferior por el hecho de su mayor tamaño). En la mayor parte de las soluciones de los suelos las concentraciones en microelementos son frecuentemente muy bajas, y los efectos de quelación sobre los flujos de estos elementos hacia las raíces pueden tener una importancia relativa muy grande (Loué, 1988).

Crecimiento de las raíces mediante intercepción-suelo.

El suplemento de nutrientes hacia las raíces por flujo de masa y difusión, es complementado por la “intercepción de la raíz”, un proceso adicional mediante el cual las “raíces chocan contra” o interceptan nutrientes en su camino. El concepto actual de intercepción de la raíz puede ser erróneo. No obstante parece importante reconocer que las raíces, al crecer a través del suelo, establecen contacto con una superficie mineral aproximadamente igual en área a la superficie de la raíz y que el contacto de los iones en esta interfase no depende de los procesos de convección o difusión (Mortvedt, 1983). Al nivel de la absorción propiamente dicha no existen, según parece diferencias muy importantes entre los macroelementos y los microelementos, si no es por lo que se refiere a los segundos en las cantidades absorbidas que son mucho menores y a las absorciones tóxicas que son alcanzadas más rápidamente (Loué, 1988).

#### **1.1.11.2. Principales factores que afectan la asimilación de los microelementos**

En general los factores que afectan a la planta para absorber los nutrimentos son:

1. Concentración del oxígeno en la atmósfera del suelo: la energía requerida para la nutrición se genera durante el proceso de respiración de las raíces. En el suelo existe una aireación pobre, además de afectar el estado de oxidación, inhibe la absorción de nutrimento.
2. Temperatura del suelo: la absorción de nutrimentos se relaciona con la actividad metabólica, la cual a su vez depende de la temperatura.
3. Reacciones antagónicas: Se sabe que existe antagonismo entre muchos iones, aunque el mecanismo de ello no ha sido suficientemente estudiado.
4. El pH del suelo: Para las plantas en soluciones nutritivas la solución suele ser máxima a pH entre 5 y 6. Concentraciones elevadas de un nutrimento en solución pueden también deprimir la absorción de otros. El aumento del pH reduce la

solubilidad y absorción de aluminio, cobalto, cobre, hierro, zinc y más particularmente manganeso, aumentando la de molibdeno (Alloway, 1990; Loué, 1988).

5. La composición de la solución del suelo: la solución del suelo proporciona el medio químico para las raíces y comprende el agua del suelo y sus electrólitos con pequeñas cantidades de gases disueltos y compuestos hidrosolubles. La composición de la solución del suelo depende del contenido de humedad, del ritmo del crecimiento del cultivo y de la actividad de la población microbiana. Se ha demostrado que la composición de la solución del suelo cambia a lo largo de una temporada de crecimiento, haciéndose menos concentrada conforme la estación avanza. Durante el invierno o durante el periodo sin cultivos, las concentraciones de iones en solución aumentan de nuevo a sus niveles previos al cultivo (Bohn, 1993).

#### **1.1.11.3. Poder cambiador de diferentes cationes**

Los suelos retienen iones y moléculas mediante el intercambio de cationes y aniones, la precipitación, atracción electrostática débil, formación de complejos con la materia orgánica del suelo y retención dentro de las células microbianas. Si un sólo mecanismo o componente del suelo retuviera cierto tipo de ion, la química de suelos sería relativamente simple (Bohn, 1993).

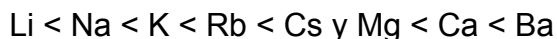
La adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación acompañante de uno o más iones retenidos por la micela se denomina intercambio de cationes (Foth, 1986).

Dos propiedades del catión: su valencia y su radio hidratado, revisten gran importancia. Se sabe que, en general, los iones divalentes son retenidos en mayor grado que los monovalentes y que la retención de los trivalentes es mayor aún.

Se sabe también que en los iones de carga idéntica, el poder cambiador, es decir, la retención, aumenta con el peso atómico debido a la disminución del tamaño efectivo (hidratado) del ión. El tamaño efectivo es inversamente proporcional al radio iónico.



Los conceptos anteriores permiten comprender mejor la siguiente serie de cationes:



índica que la retención aumenta del litio al cesio, así como del magnesio al bario.

Se observa que cuando una reacción de cambio no sigue la serie indicada, la reacción resultante no es de cambio, si no que tienen lugar procesos no reversibles, como los de fijación. Algunos minerales de arcilla en especial los del grupo de las micas hidratadas, pueden adsorber en forma casi irreversible iones de potasio u otros cuyo radio iónico es semejante, como el amonio. Este fenómeno se presenta sobre todo en los iones con radios entre 1,3 y 1,5 Å mientras que los de tamaño menor o mayor no son fijados con firmeza (Bornemisza, 1982).

En la Tabla 2 se indican algunos radios iónicos, en los cuales los de la columna izquierda exhiben una fijación apreciable, en tanto que en los de la columna derecha sólo se fija el cesio.

TABLA 2. Radios iónicos de algunos elementos.

Catión	Diámetro (Å)	Catión	Diámetro (Å)
K <sup>+</sup>	1,33	Li <sup>+</sup>	0,60
Ba <sup>2+</sup>	1,35	Na <sup>+</sup>	0,95
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,42	Ca <sup>2+</sup>	0,99
Rb <sup>+</sup>	1,48	Cs <sup>+</sup>	1,69

(Bornemisza, 1982).

#### 1.1.11.4. Interacción

El balance químico en los seres vivos es una condición básica para sus propiedades de crecimiento y desarrollo. Las interacciones de elementos químicos también son de importancia similar para la deficiencia y toxicidad en la fisiología de las plantas. Las interacciones entre elementos químicos como antagonismo, sinergismo, y sus reacciones desequilibradas tal vez causen un real estrés químico en plantas. El antagonismo ocurre cuando el efecto fisiológico combinado de dos o más elementos

es menor que la suma de sus efectos independientes y el sinergismo ocurre cuando los efectos combinados de estos elementos son mayores. Estas interacciones tal vez también se refieren para la habilidad de un elemento para inhibir o estimular la absorción de otros elementos en plantas. Todas estas reacciones son completamente variables y tal vez ocurren dentro de la célula sin la membrana superficial, y también alrededor de las raíces de la planta. Los procesos de interacción son controlados por factores severos y estos mecanismos son muy poco entendidos.

Las interacciones observadas entre las plantas y elementos traza, también indicaron que estos procesos son bastante complejos, siendo hasta ahora antagonismo y sinergismo en la naturaleza, y ocasionalmente son envueltos en el metabolismo de más de dos elementos. En la Tabla 3 y 4 se muestran las interacciones sinérgicas y antagónicas de elementos traza y macroelementos. El mayor número de reacciones antagonistas han sido observadas para hierro, manganeso, cobre y zinc; las cuales son obviamente la clave de los elementos en la fisiología de la planta. Estos metales traza son ligados a procesos de absorción para plantas y para el camino enzimático. Los otros elementos traza frecuentemente involucrados en procesos antagonistas con estos cuatro metales traza son cromo, molibdeno y selenio.

Las interacciones sinérgicas entre elementos traza no son comúnmente observadas. Aquellos reportes para cadmio y otros metales tales como plomo, hierro y níquel tal vez sean consecuencia de la destrucción de barreras fisiológicas bajo el estrés de excesivas concentraciones de metales pesados. Por otra parte diferentes reacciones que ocurren en la parte de afuera de la raíz no deberían ser relacionadas con interacciones metabólicas, pero las dos reacciones no se separan fácilmente (Kabata, 1986).

TABLA 3. Interacciones de elementos traza dentro de la planta y raíces de plantas vecinas.

	Cu	Zn	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Cu				A			
Zn	A			A	A		
Cr	PA			A	A		
Mn	A ó S	A	A		A	A	A
Fe	A	A	A	A		A	
Co				A	A		
Ni	A ó S	A ó S		PA			

(Kabata, 1986).

\*Los elementos que se encuentran de forma horizontal en la parte superior corresponden a las raíces vecinas y los que se encuentran en la parte izquierda de la tabla corresponden a las plantas.

A = Antagonismo    A ó S = Antagonismo ó Sinergismo    PA = Posible Antagonismo

TABLA 4. Interacciones entre macroelementos y elementos traza en plantas.

Macroelemento	Elementos Antagonistas	Elementos Sinérgicos
Ca	Al, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr y Zn	Cu, Mn y Zn
Mg	Al, Be, Ba, Cr, Mn, F, Zn, Ni, Co, Cu y Fe	Al y Zn
P	Al, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Si, Sr y Zn.	Al, Cu, B, F, Fe, Mo, Mn y Zn
K	Al, B, Hg, Cd, Cl, F, Mo, Mn y Rb	
S	As, Ba, Fe, Mo, Pb y Se	F y Fe
N	B, F y Cu	B, Fe, Cu y Mo
Cl	Br y I	

(Kabata, 1986).

### 1.1.12. FISIOLÓGÍA DE LA PLANTA

#### ABSORCIÓN

Los dos centros más probables de absorción son las raíces y las hojas. Las raíces absorben principalmente soluciones contenidas en el suelo y dicha solución implica primariamente iones y compuestos solubles en agua. Esta absorción depende mucho de la naturaleza de la solución existente en el suelo, que viene afectada por la afinidad de las partículas del suelo por los solutos y por la actividad de los microorganismos del suelo que metabolizan estos solutos. Por lo demás, las células radiculares y otras células vegetales presentan propiedades de absorción semejantes a las de las células animales. Por consiguiente la absorción de sustancias es por difusión pasiva, quedando favorecidas las moléculas solubles en lípidos. Para algunas sustancias la absorción es activa, implicando el gasto de energía metabólica, y estos compuestos y otros relacionados pueden concentrarse en contra de grandes

gradientes electroquímicos. Las sustancias tóxicas absorbidas por las raíces son frecuentemente retenidas en los órganos de almacenamiento radicales, y tienden a persistir allí mucho mas tiempo que en los tallos o en las hojas. La absorción realizada por las hojas puede ser de sustancias gaseosas procedentes de la atmósfera, o de sustancias disueltas en la lluvia, la nieve o los rociados que se aplican al control de plagas. En el caso de los compuestos solubles en lípidos, la absorción por las hojas es muy acusada, puesto que estos compuestos pueden penetrar por la cutícula cérica. Las sustancias gaseosas pueden entrar a través de los estomas, pero de nuevo la solubilidad de los lípidos contribuye a su absorción a través de las membranas de las células foliares (Duffus, 1983).

## TRANSLOCACIÓN

Una vez que han sido absorbidas, las sustancias pueden pasar de una célula a la célula adyacente a lo largo de hebras citoplasmáticas, denominadas plasmodesmos, que atraviesan las paredes circulares circundantes. Alternativamente las sustancias absorbidas pueden pasar a la solución acuosa existente junto a las paredes celulares y difundirse a través de ella. Una vez que la sustancia entra en el tejido vascular, puede ser transportada con rapidez desde las raíces hasta las hojas a través de la corriente de transpiración por el xilema o más lentamente desde las hojas hacia abajo por el floema. La absorción de sustancias a partir del sistema vascular varía a lo largo de la planta, dependiendo de la naturaleza de los tejidos, su estado hormonal y las condiciones ambientales. El estado hormonal y la fase de desarrollo correlacionada pueden ser particularmente importantes. Los meristemas apicales y las regiones con altas concentraciones de hormonas del crecimiento tienden a acumular nutrientes y sustancias relacionadas, a menudo a costa del tejido senescente (Duffus, 1983).

## METABOLISMO Y EXCRECIÓN

Las sustancias tóxicas que entran en las células vegetales pueden reaccionar con los componentes celulares ejerciendo efectos dañinos o pueden ser metabolizados directamente. El metabolismo de las sustancias tóxicas parece ser semejante al que se produce en las células animales, mediante transformaciones que implican hidrólisis, conjugación y la acción del sistema del citocromo P<sub>450</sub> (oxigenasa de

función mixta). Además, las células vegetales pueden secuestrar sustancias tóxicas en sus vacuolas. Además del desprendimiento de tejidos muertos que han sido envenenados y más raramente la pérdida por evaporación, gutación o exudación radicular, este es el principal medio de excreción de las sustancias tóxicas y sus derivados (Duffus, 1983).

## **1.2. ESPECTROSCOPIA**

La espectroscopía es una técnica instrumental que estudia las interacciones que suceden entre la radiación y la materia. Las técnicas espectroscópicas de análisis, miden la cantidad de radiación producida o absorbida por las especies atómicas o moleculares que se analizan. Estos métodos también se clasifican de acuerdo con la región del espectro electromagnético que se utiliza para hacer la medición. Estas regiones incluyen los rayos  $\gamma$ , rayos X, ultravioleta (UV), visible, infrarrojo (IR). Las microondas y radiofrecuencias, (RF). Además de la radiación electromagnética, la espectroscopía también incluye técnicas de espectroscopía acústica y electrónica.

La espectroscopía ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la teoría atómica moderna. Los métodos espectroscópicos, también han aportado las herramientas que, posiblemente, son las que más se utilizan para elucidar estructuras moleculares, así como para identificar y obtener la composición cuantitativa y cualitativa de sustancias orgánicas e inorgánicas (Skoog, 2002).

## **1.3. ESPECTROSCOPIA ATÓMICA**

Esta técnica permite llevar a cabo el análisis cuantitativo de 64 elementos. Se basa en la medición de absorción o emisión de radiación por parte de átomos libres y neutros. La espectroscopía de absorción atómica (AA) es la que más se utiliza. Los límites de detección son del orden de  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  (Skoog, 2002).

### **1.3.1. ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN**

Se mide la emisión de la muestra en si, y la intensidad de la luz emitida está en función de la concentración del analito (Rubinson y Rubinson, 2000).

### **1.3.2. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Como en todos los métodos espectroscópicos, en la espectroscopía de absorción atómica es necesario llevar a la muestra a un estado de vapor atómico. Este proceso, conocido como atomización, consiste en volatilizar la muestra y descomponerla en sus átomos y quizá en algunos iones gaseosos (Skoog, 2002).

### **1.3.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Para la atomización de las muestras que se van a analizar por espectroscopía de absorción atómica se utilizan principalmente la atomización a la flama y la atomización en tubo electrotérmico (horno de grafito).

La fuente de radiación para el elemento a analizar usualmente es una lámpara de cátodo hueco, emite la radiación que pasa a través de la flama que contiene el analito en forma de gas atómico.

La solución del analito se nebuliza por medio de un atomizador o nebulizador en finas gotitas y se lleva a la flama. El disolvente de las gotas se evapora de inmediato y las partículas de sal se descomponen en átomos, iones y electrones. Los átomos de la muestra absorberán la radiación que emite el mismo átomo desde la lámpara de cátodo hueco, mediante un monocromador se separa la línea espectral del elemento que interesa de cualquier otra radiación que venga de la fuente o de la flama. La energía radiante de la fuente se transforma en corriente eléctrica mediante un tubo fotomultiplicador (Skoog, 2002).

Secuencia de fenómenos que tienen lugar en la flama:

- i. Se evapora el agua o los otros disolventes, dejando como residuo diminutas partículas de sal seca.
- ii. La sal seca se vaporiza, pasa al estado gaseoso.
- iii. Las moléculas gaseosas, o una parte de ellas, se disocian progresivamente dando lugar a átomos neutros o a radicales. Estos átomos neutros son las

especies absorbentes en espectroscopía de absorción atómica y son las especies potencialmente emisoras en espectroscopía de emisión atómica y espectroscopía de fluorescencia atómica.

- iv. Parte de los átomos neutros se excitan térmicamente o se ionizan. La fracción excitada térmicamente es importante en el análisis por espectroscopía de emisión atómica, ya que el retorno al estado fundamental de los electrones excitados es el responsable de la emisión de la luz que se mide.
- v. Parte de los átomos neutros o de los radicales que se encuentran en la llama pueden combinarse para formar nuevos compuestos gaseosos. La formación de estos compuestos reduce la población de los átomos neutros en las llamas y constituye las llamadas interferencias químicas que se presentan en los tres métodos de análisis que utilizan llama (Olsen, 1990).

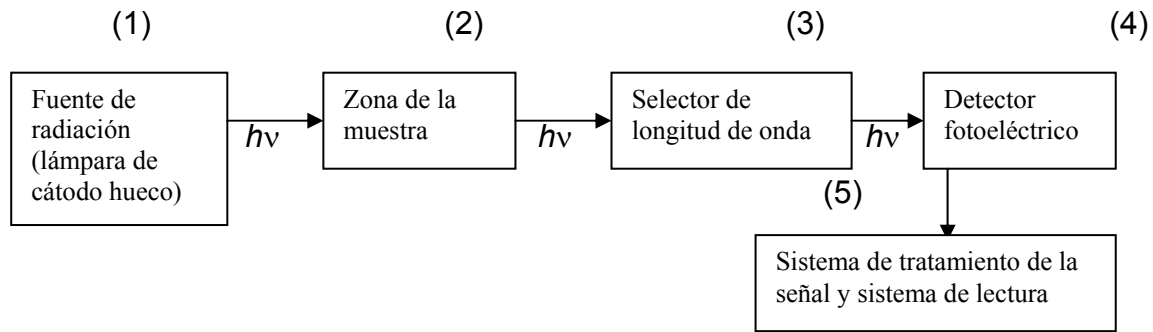
#### **1.4. INSTRUMENTACIÓN**

Los instrumentos espectroscópicos característicos incluyen cinco componentes:

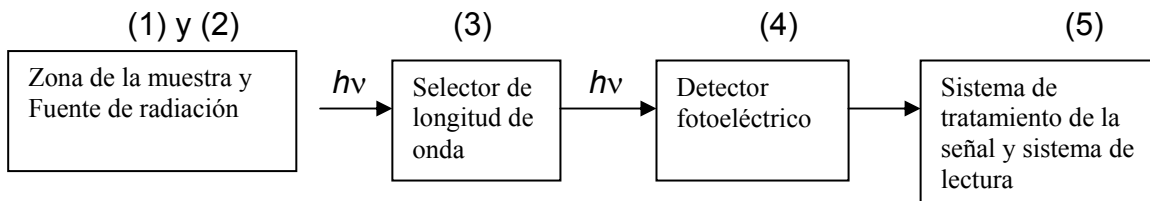
- Fuente estable de energía radiante (HCL).
- Recipiente transparente para contener la muestra (flama).
- Dispositivo que aisle una región restringida del espectro para la medida (monocromador).
- Detector de radiación (tubo fotomultiplicador).
- Sistema de procesamiento y lectura de la señal.

En la Figura 1 y 2 puede observarse el diagrama de un espectrofotómetro de absorción atómica y de emisión atómica, la diferencia es que el primero tiene una fuente de radiación que generalmente es una lámpara de cátodo hueco:





**FIGURA 1.** Componentes de diversos tipos de instrumentos para espectroscopía de absorción atómica. (Skoog, 2001).



**FIGURA 2.** Componentes de diversos tipos de instrumentos para espectroscopía de emisión atómica (Skoog, 2001).

### 1.4.1 FUENTE DE RADIACIÓN

La fuente de radiación mas común en absorción atómica es la lámpara de cátodo hueco (HCL), cada elemento tiene una lámpara específica, esta lámpara produce líneas de radiación estrechas (del orden de  $0.01 \text{ \AA}$ ) (Olsen, 1990).

La lámpara de cátodo hueco consiste en ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico cerrados herméticamente lleno con neón o argón a una presión de 1-5 torr. El cátodo está construido con el metal cuyo espectro se desea obtener, o bien, sirve de soporte para una capa de dicho metal (Skoog, 2001).

Actualmente se han desarrollado, con distintos resultados, lámparas que contienen de dos a seis diferentes elementos. Los cátodos están formados por aleaciones, compuestos intermetálicos según los metales que intervienen. Muchas de las combinaciones no presentan desventajas apreciables frente a las lámparas de un

elemento único y resultan más económicas, sin embargo presentan la desventaja de agotamiento del cátodo de todos los elementos al mismo tiempo, lo que reduce el periodo de vida de estas lámparas (Olsen, 1990).

#### **1.4.2. INTRODUCCIÓN DE LA MUESTRA: SISTEMA NEBULIZADOR-QUEMADOR**

Este sistema de introducción de muestra consta de tres componentes: un sistema nebulizador que dispersa el líquido en gotas pequeñas, un modificador de aerosol que elimina las gotas más grandes y la flama que convierte al analito en átomos libres y neutros.

La muestra asciende por el capilar hasta el quemador por la disminución de presión que se produce en el flujo de gas oxidante a través del nebulizador. Debido a este hecho, la corriente de la solución de la muestra llega a la región de presión reducida y se transforma rápidamente en gotas. La solución que no sea lo suficientemente fina para ser transportada por la corriente de gas, cae a la parte inferior de la cámara de mezcla y es drenada por el desagüe (Pérez, 2003).

#### **1.4.3. MONOCROMADOR**

El monocromador es un dispositivo que aísla una región restringida del espectro para la medida.

En muchos métodos espectroscópicos, es necesario o deseable poder variar, de forma continua y en un amplio intervalo la longitud de onda de la radiación. Este proceso se denomina barrido de un espectro. Los monocromadores se diseñan para realizar barridos espectrales. Para ser fiables, los materiales con los que se fabrican estos componentes dependen de la región de longitudes de onda a las que se destine su uso.

Los elementos ópticos que hay en todos los monocromadores son: (1) una rendija de entrada (slit), que proporciona una imagen óptica rectangular, (2) una lente colimadora o un espejo que produce un haz paralelo de radiación, (3) una rejilla de difracción que dispersa la radiación en sus longitudes de onda individuales, (4) un

elemento focalizador que forma de nuevo la imagen de la rendija de entrada y la enfoca en una superficie plana denominada plano focal y (5) una rendija de salida (slit), en el plano focal que aísla la banda espectral deseada (Skoog, 2001).

#### **1.4.4. DETECTOR**

Los detectores de los primeros instrumentos espectroscópicos fueron el ojo humano, las películas o las placas fotográficas. Estos dispositivos de detección se han sustituido, en gran parte, por detectores que convierten la energía radiante en una señal eléctrica.

El detector ideal debe tener una elevada sensibilidad, una elevada relación señal/ruido y una respuesta constante en un intervalo considerable de longitudes de onda. Además, debe tener un tiempo de respuesta rápido y una señal de salida igual a cero en ausencia de iluminación. Por último, la señal eléctrica producida por el transductor debería ser directamente proporcional a la potencia radiante.

Existen diferentes tipos de detectores entre los que se encuentran celdas fotovoltaicas, fototubos, tubos fotomultiplicadores, detectores de fotoconductividad, fotodiodos de silicio y detectores de transferencia de carga. Sin embargo, el más utilizado es el fotomultiplicador debido a que presenta una elevada sensibilidad, es capaz de utilizar anchuras de rendija muy pequeñas y obtener resoluciones elevadas. (Skoog, 2001).

#### **1.4.5. PROCESADORES DE SEÑAL**

El procesador de señal es generalmente un dispositivo electrónico que amplifica la señal eléctrica del detector. Además puede cambiar la señal de corriente continua a corriente alterna (o a la inversa), cambiar la fase de la señal y filtrarla para eliminar los componentes no deseados. Además, el procesamiento de señal puede utilizarse para llevar a cabo operaciones matemáticas en la señal, como diferenciar, integrar, o convertir a logaritmo (Skoog, 2001).

### 1.5. LEY DE LAMBERT- BEER

Para realizar un análisis se efectúan dos mediciones de la cantidad de luz absorbida. En la primera se mide la cantidad de luz (a la longitud de onda elegida) que cae sobre el transductor al introducir un blanco al aparato. Sea  $P_0$  la potencia del blanco, es decir, la potencia cuando la concentración del material que se ensaya es igual a cero.

Se efectúan mediciones cuando se coloca el analito o muestras de calibración (estándares) y se comparan con la medición del blanco. Sea  $P$  la potencia que se mide con las muestras o estándares. La comparación que se efectúa es la relación  $P/P_0$ , efectuando ambas mediciones de potencia en las mismas condiciones instrumentales de longitud de onda, geometría, etcétera.

Hay tres términos distintos para expresar dicha proporción. El primero es simplemente la relación  $P/P_0$ , que se llama transmitancia y en general se abrevia como  $T$ .

$$T = P/P_0$$

La segunda es el porcentaje de transmitancia,

$$\%T = T \times 100$$

La tercera es el logaritmo negativo de  $T$ , que se llama absorbancia y se abrevia como  $A$ . La expresión algebraica de la absorbancia es

$$A = -\log P/P_0 = -\log T$$

La absorbancia de una muestra es proporcional a la cantidad total de material que absorbe la luz incidente. En forma experimental, se puede demostrar lo siguiente

$$A = abc$$

Cuando la concentración  $c$  se expresa en ( $\text{mol L}^{-1}$ ) y la longitud de la trayectoria en  $\text{cm.}$ , la constante  $a$  tendrá las unidades ( $\text{L mol}^{-1} \text{cm.}^{-1}$ ) y en este caso se le da el símbolo  $\epsilon$  que se llama coeficiente de extensión molar o absortividad molar. Por tanto incluyendo las unidades se tiene:

$$A \text{ (adimensional)} = \epsilon \text{ (L mol}^{-1} \text{cm.}^{-1}) b \text{ (cm.) } c \text{ (mol L}^{-1})$$

Simplificando:

$$A = \epsilon bc$$

(Rubinson y Rubinson, 2000).

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es importante destacar que actualmente la tecnología tiene un desarrollo sumamente rápido y que hoy en día nos enfrentamos cada vez más a un mundo globalizado. Resulta interesante que el ser humano obtiene grandes beneficios de este desarrollo, aunque proporcionalmente se está causando un deterioro en la salud, lo cual exige al hombre buscar nuevas alternativas para tratar de mantener el equilibrio de su organismo. Una de las alternativas que actualmente está resurgiendo para mantener este equilibrio es el uso creciente de las plantas medicinales en México y todo el resto del mundo. Tomando en cuenta lo anterior, estamos obligados a garantizar la calidad, seguridad y efectividad de las plantas medicinales; con esto se puede resaltar la importancia de conocer los componentes, así como las cantidades en las que se encuentran presentes.

Cuando hablamos de la calidad de las plantas medicinales es muy importante hablar de los metales que estas contienen, ya que pueden ser un aporte importante para el organismo, para su buen funcionamiento; o en el caso extremo de que se encuentren en concentraciones excesivas puedan ser tóxicas para el mismo.

Por eso es importante tener en cuenta la cuantificación de estos mismos como un estudio de caracterización, calidad y seguridad del producto. Es por ello que en el presente trabajo resulta de interés la evaluación de los niveles de concentración de elementos contaminantes: Cr, Ni y elementos constituyentes: Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K, Mn, Co en Gordolobo Mexicano (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana (*Heterotheca inuloides* Cass).

Dado lo anterior, los resultados obtenidos serán presentados a la Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

El presente proyecto tiene como objetivo cuantificar los elementos metálicos: cobre, zinc, hierro, níquel, cobalto, cromo, manganeso, calcio, magnesio, sodio y potasio, presentes en Gordolobo Mexicano (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana (*Heterotheca inuloides* Cass), empleando una técnica de análisis instrumental a través de un método analítico que sea exacto y preciso.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la preparación de muestras de las plantas medicinales Gordolobo Mexicano, (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana (*Heterotheca inuloides* Cass).
- Realizar la determinación taxonómica para cada una de las muestras, con apoyo de claves taxonómicas de Rzedowski, J. y Rzedowski de G.
- Evaluar mediante la técnica de Absorción y Emisión Atómica con llama, los niveles de Cu, Zn, Fe, Ni, Co, Cr, Mn, Ca, Mg, Na y K presentes en las plantas medicinales seleccionadas para el estudio.
- Presentar los resultados obtenidos a la Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos para que sean considerados en la próxima edición de la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos.

#### **4. HIPÓTESIS**

Si se conoce la concentración de metales constituyentes, así como de metales contaminantes, entonces se podrá tener una caracterización más detallada de las plantas estudiadas y así se lograrán establecer algunos de los beneficios y deterioros que dichas plantas causen al ser humano.



## 5. MATERIAL Y EQUIPO

### 5.1. MATERIAL

- Material vegetal secado al aire, finamente molido y mezclado homogéneamente.
- Matraces Kjeldahl de 30 mL Pyrex.
- Vasos de precipitados de 250 y 500 mL Pyrex.
- Matraces volumétricos de 25, 50 y 100 mL Pyrex.
- Pipetas Volumétricas 1, 2, 5 y 10 mL Pyrex.
- Embudos de Vidrio de tallo corto Pyrex.
- Mortero con pistilo.
- Piseta.
- Espátula.
- Soporte universal.
- Frascos de Polipropileno de 50 mL.
- Bolsas de plástico de 50 g, 500 g, 1 Kg y 2 Kg.
- Papel filtro.
- Algodón.
- Hojas de papel milimétrico.
- Papel glaseen.

### 5.2. REACTIVOS

- ❖ Agua desionizada.
- ❖ Ácido Perclórico J. T. Baker (G.A.)
- ❖ Ácido Nítrico J. T. Baker (G.A.)
- ❖ Aire comprimido AGA (presión de 2.8 Kg/cm).
- ❖ Acetileno AGA (presión 0.8 Kg/cm).

### 5.3. SOLUCIONES

- ✚ Mezcla de ácido nítrico: ácido perclórico (2: 1).
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g/mL}^{-1}$  para Cu Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g/mL}^{-1}$  para Zn Merck.

- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Fe Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Ni Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Co Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Cr Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Mn Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Ca Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Mg Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Na Merck.
- ✚ solución patrón de  $1000 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para K Merck.

#### 5.4. INSTRUMENTOS

- Espectrofotómetro de Absorción atómica VARIAN AA-1475.
- Balanza analítica OHAUS 1500.

#### 5.5. EQUIPO

- ✓ Digestor LABCONCO.
- ✓ Estereoscopio.
- ✓ Campana de extracción.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco photron para Mg con una corriente máxima de 15 mA y una corriente de operación de 7-8 mA. Longitud de onda 285.2 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco photron para Cr con una corriente máxima de 20 mA y una corriente de operación de 10 mA. Longitud de onda 357.9 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco photron para Ni con una corriente máxima de 20 mA y una corriente de operación de 10 mA. Longitud de onda 341.5 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco photron para Mn con una corriente máxima de 10 mA y una corriente de operación de 5 mA. Longitud de onda 279.5 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco buick scientific para Fe con una corriente máxima de operación de 20 mA y una corriente de operación de 10 mA. Longitud de onda 248.5 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco buick scientific para Mo con una corriente máxima de operación de 15 mA y una corriente de operación de 7-10 mA. Longitud de onda 313.3 nm.

- ✓ Lámpara de cátodo hueco buick scientific para Co con una corriente máxima de operación de 20 mA y una corriente de operación de 10 mA. Longitud de onda 240.7 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco pye unicom para Zn con una corriente máxima de operación de 10 mA y una corriente de operación de 5 mA. Longitud de onda 213.9 nm.
- ✓ Lámpara de cátodo hueco pye unicom para Ca con una corriente máxima de operación de 6 mA y una corriente de operación de 3 mA. Longitud de onda 422.5 nm.

## 5.6. POBLACIÓN DE ESTUDIO

- Gordolobo Mexicano, Flor (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC).
- Árnica Mexicana, Flor (*Heterotheca inuloides* Cass).

## 6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se realizó una colecta de las plantas medicinales (Gordolobo Mexicano y Árnica Mexicana) en diferentes locales del mercado de Sonora ubicado en la ciudad de México.

Se colocaron 33 muestras diferentes de Gordolobo Mexicano y 33 de Árnica Mexicana en papel de estraza color café para su deshidratación y posterior molienda. Así mismo, se llevó a cabo la determinación taxonómica, para lo cual, de Gordolobo Mexicano se tomó un ejemplar de cada muestra, de cada ejemplar se tomaron 3 inflorescencias y se dejaron remojando por 5 minutos en agua caliente; se colocaron en una caja petri, utilizando un estilete y con la ayuda de un estereoscopio; se contaron cabezuelas, brácteas, flores femeninas y hermafroditas; también se midió el tamaño de las flores, cabezuelas y se observó el color del ápice. Para el caso de Árnica se tomó un ejemplar de cada muestra, de cada ejemplar se tomaron 3 cabezuelas; se dejaron remojando por 5 minutos en agua caliente; se colocaron en una caja petri, utilizando un estilete y con la ayuda de un estereoscopio; se contaron brácteas, flores liguladas, flores del disco; asimismo se midió la longitud de las flores y se les determinó su sexo.

El material de vidrio se dejó en solución de ácido nítrico al 10% por 24 horas después de este tiempo se enjuaga con agua desionizada.

Las 33 muestras fueron fraccionadas en tallo, hojas y flor; después se molieron en un mortero con pistilo individualmente.

Se llevó a cabo la digestión de las muestras en un digestor en matraces Kjeldahl de 30 mL, calentados por 45 minutos aproximadamente, agregando 5 mL de mezcla (ácido nítrico-ácido perclórico) a 200 mg de las diferentes partes de la planta. Esto se llevó a cabo con cada muestra, la cual fue previamente pesada.

La solución resultante se pasó a matraces volumétricos de 50 mL, los cuales se aforaron con agua desionizada y filtraron con algodón. Este mismo tratamiento se llevó a cabo con los blancos, sólo que estos no llevaron ninguna cantidad de muestra.

Todo fue guardado en frascos de polietileno para su posterior lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Para cada elemento se preparó una curva estándar de concentración conocida.

Posteriormente se efectuaron las lecturas de todas las muestras y a los resultados se les hizo un Análisis Estadístico, que consistió en un Análisis de Varianza, seguido de la prueba de Barlett y Bonferroni ó Kruskal-Wallis para comparar las medianas de las diferentes estructuras de cada especie. Dichas pruebas se elaboraron en el programa estadístico STAT versión 8.0.

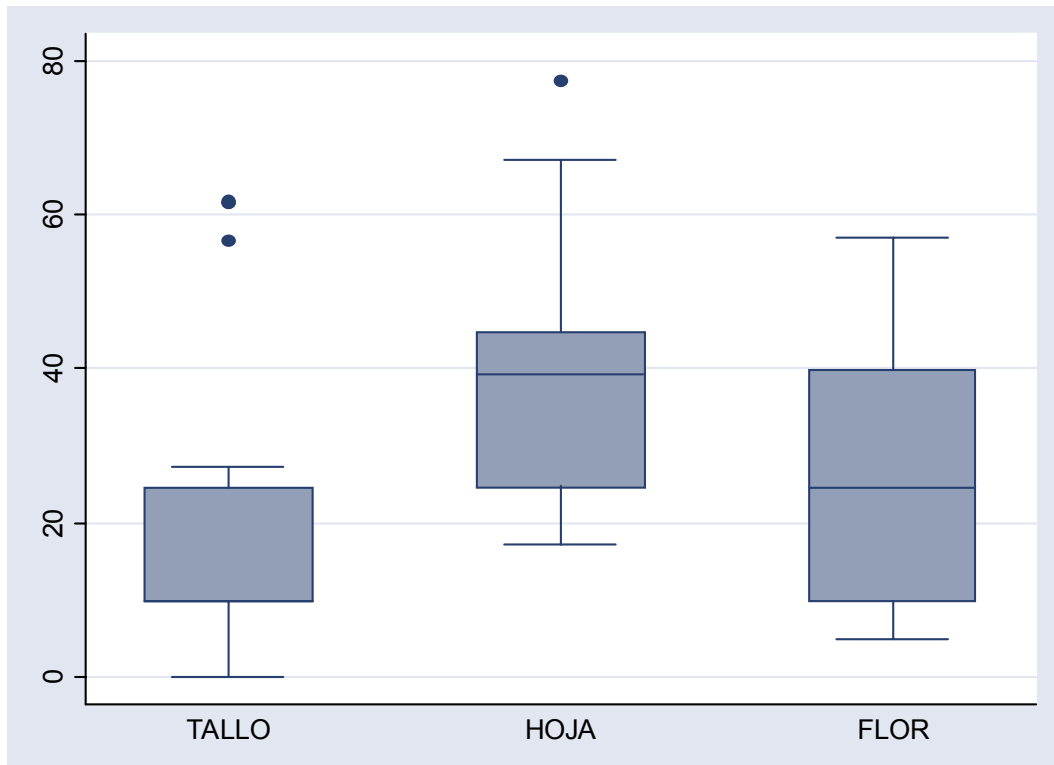
Se realizó la determinación taxonómica de las muestras con las que se trabajó.

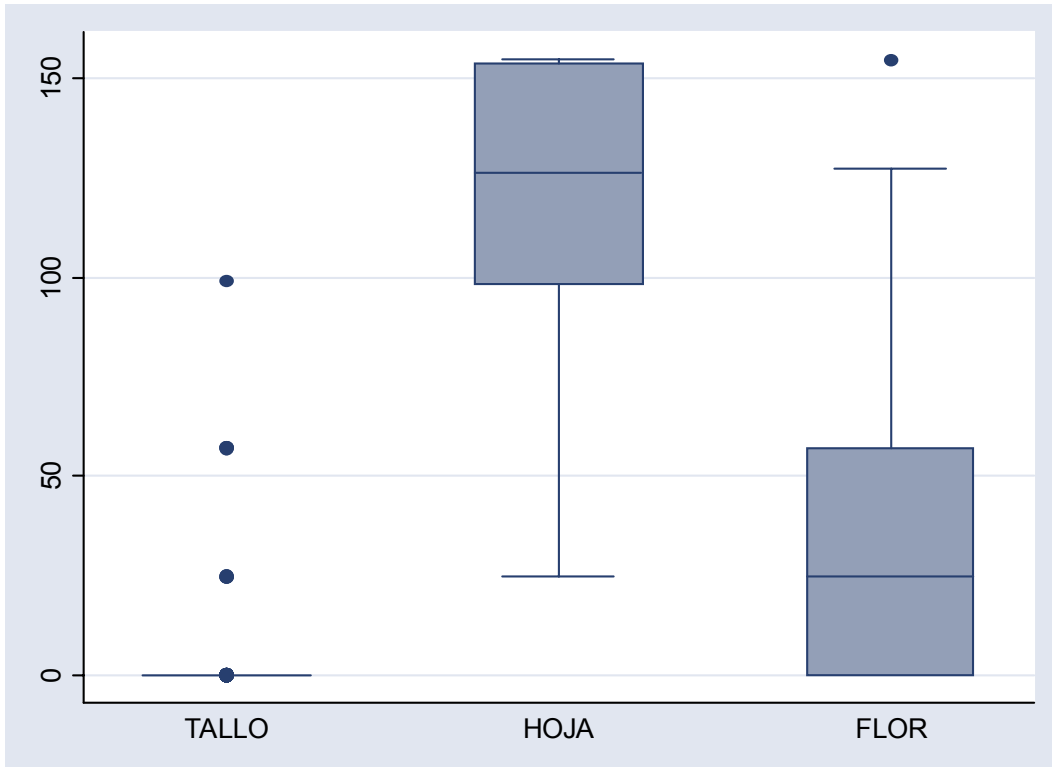
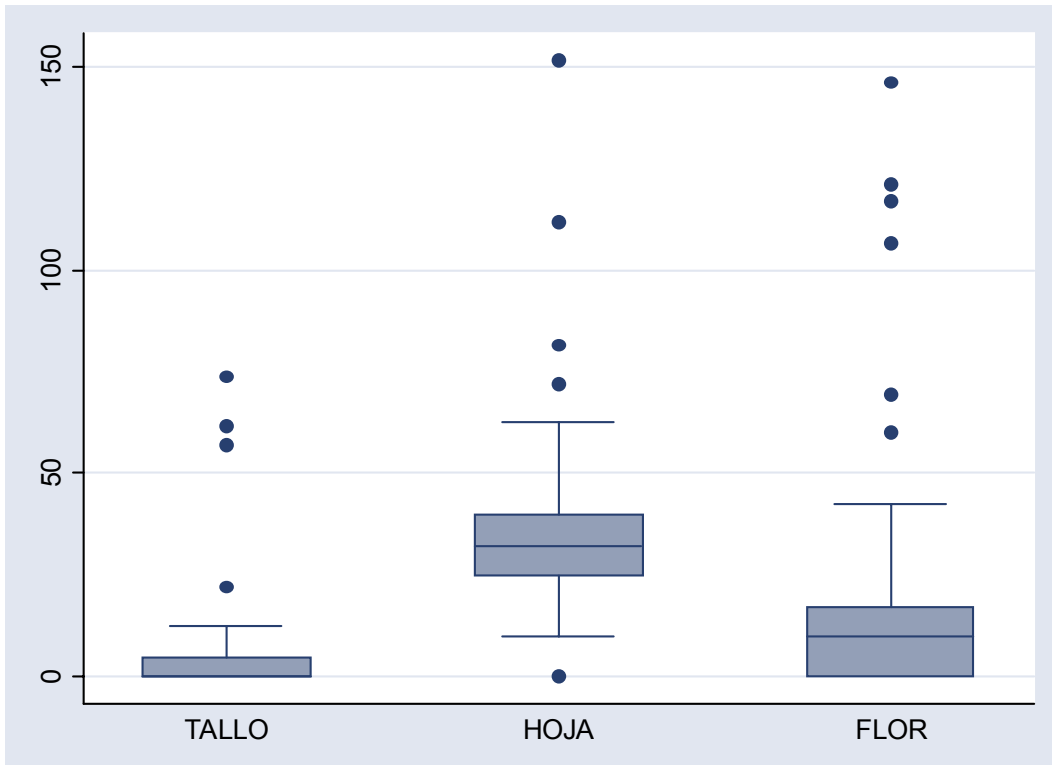
Se realizaron las siguientes pruebas de desempeño para la cuantificación de metales: Linealidad del sistema, Precisión del sistema, Límite de detección, Límite de cuantificación, Linealidad del método, % de recobro, Exactitud y Repetibilidad.

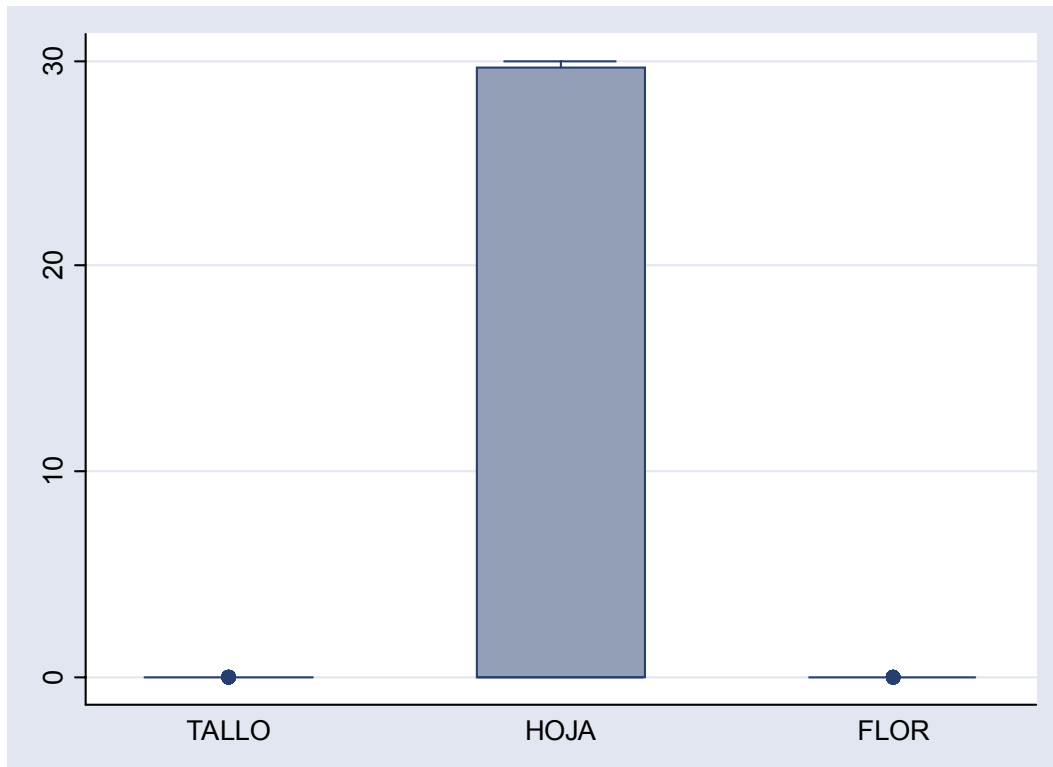
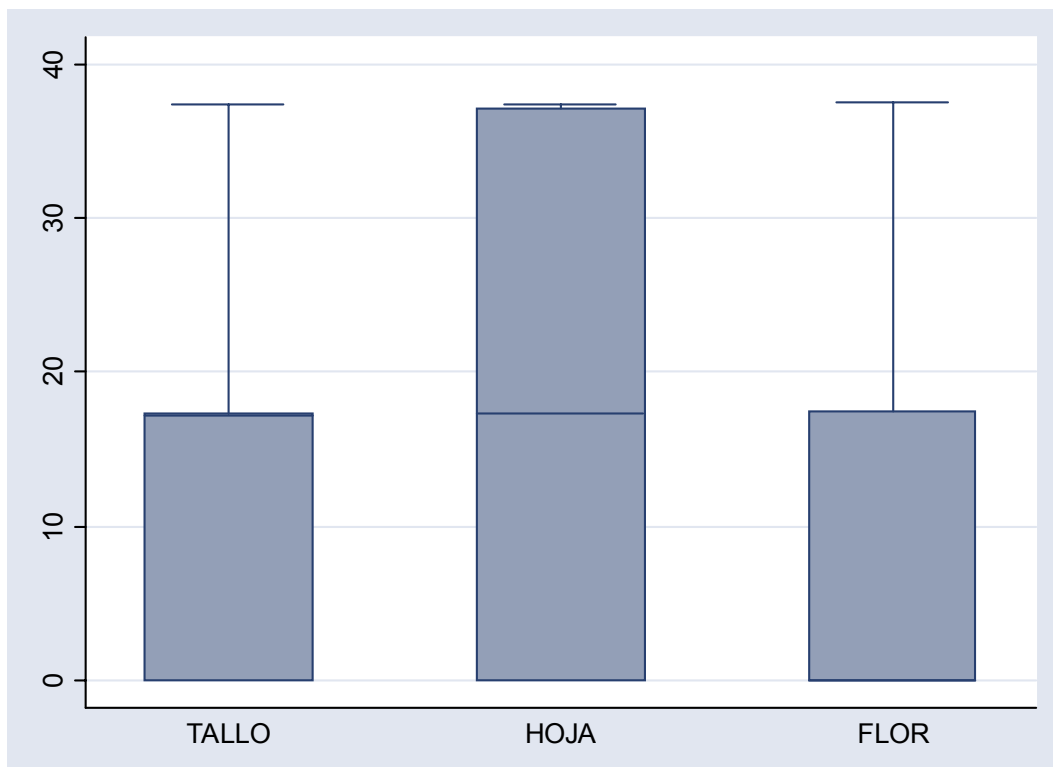
## 7. RESULTADOS

De la Gráfica 1 a la 22 se presentan diagramas de caja y bigote elaborados en el programa estadístico STAT 8.0; a través de los cuales se muestra la mediana, valores atípicos, cuartil inferior, cuartil superior, rango intercuartil, para cada una de las estructuras de cada especie. Con las medianas de cada gráfica, se realizó un Análisis de Varianza y con las probabilidades obtenidas en dicho análisis se construyeron las Tablas 5 y 6.

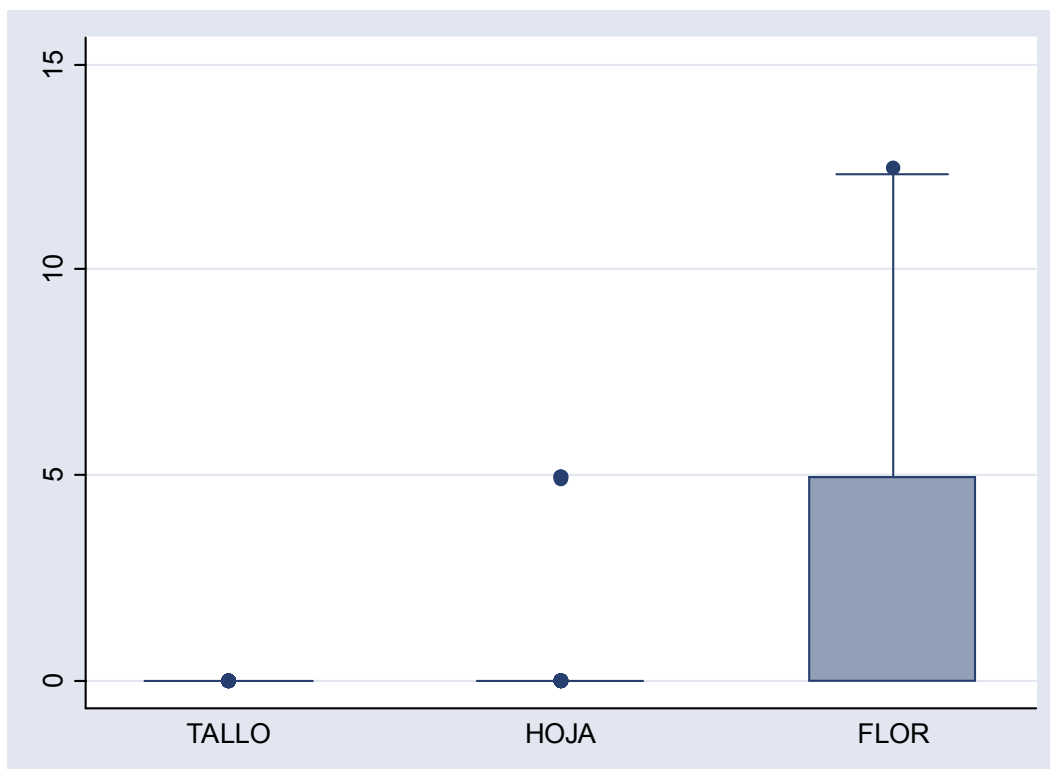
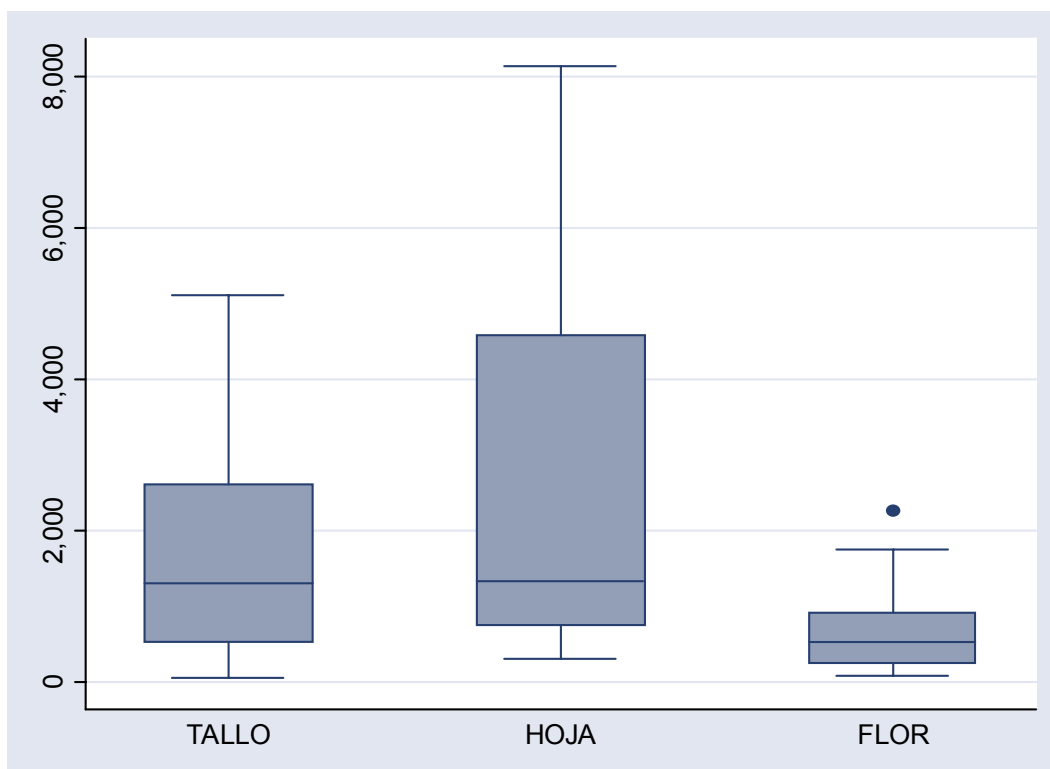
GRÁFICA 1. Concentración de cobre en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).



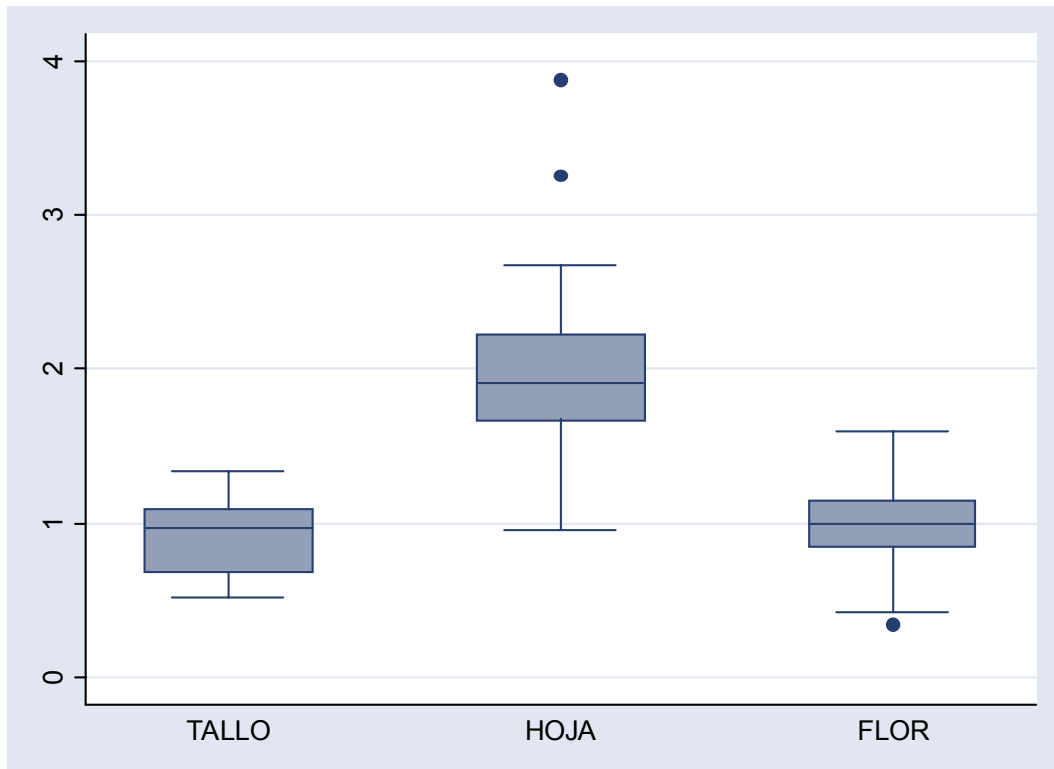
GRÁFICA 2. Concentración de zinc en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 3. Concentración de hierro en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

GRÁFICA 4. Concentración de níquel en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 5. Concentración de cobalto en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

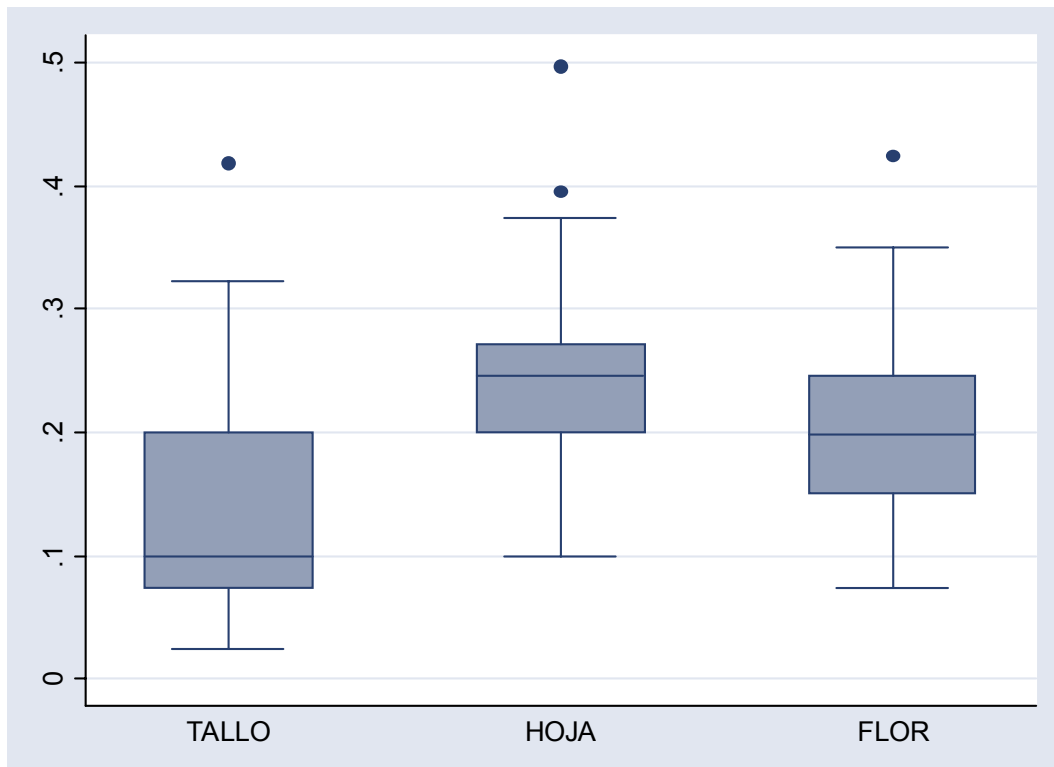


GRÁFICA 6. Concentración de cromo en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 7. Concentración de manganeso en Árnica ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

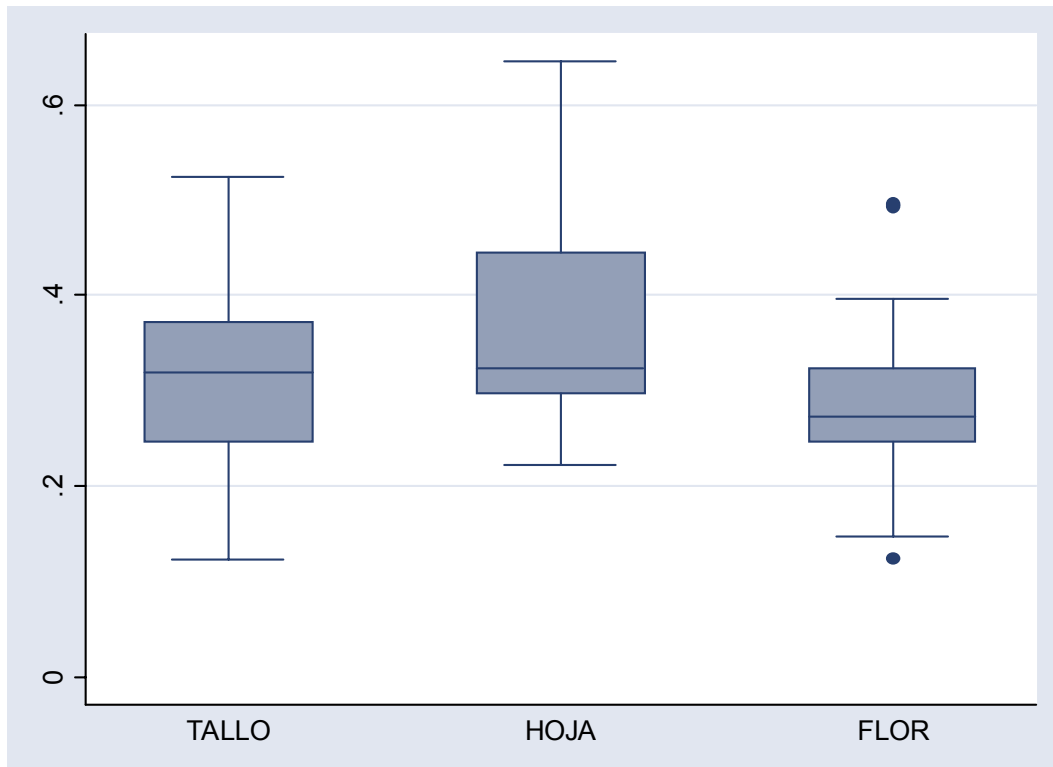
GRÁFICA 8. Concentración de calcio en Árnica (%).



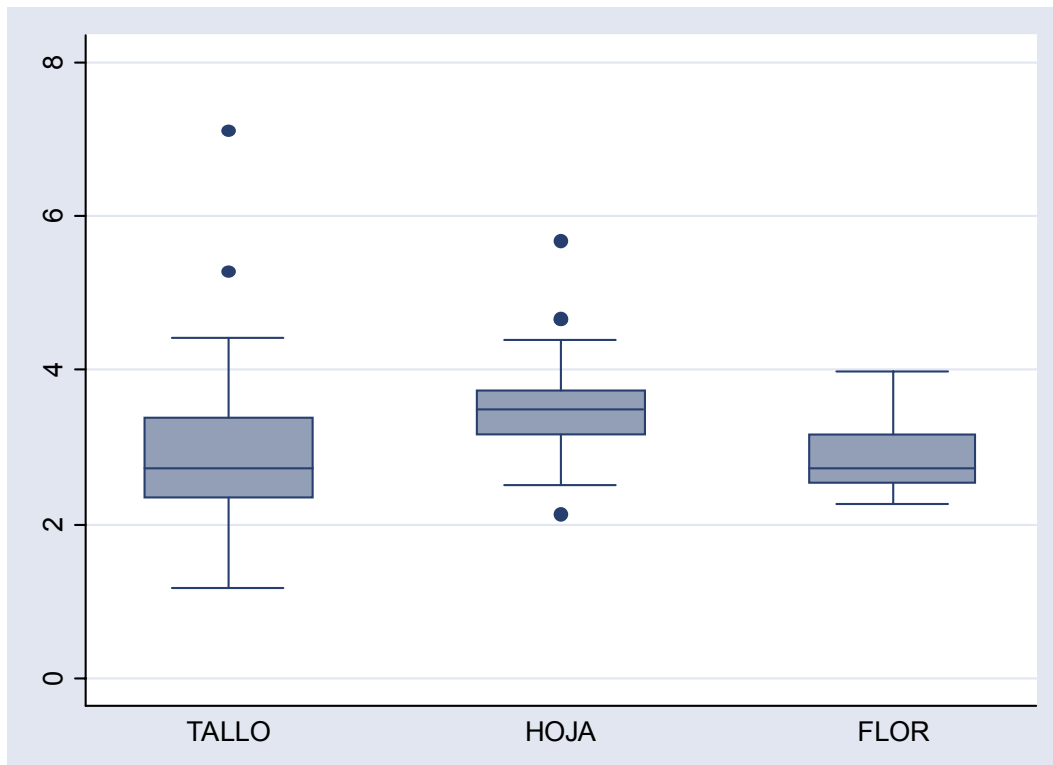
GRÁFICA 9. Concentración de magnesio en Árnica (%).

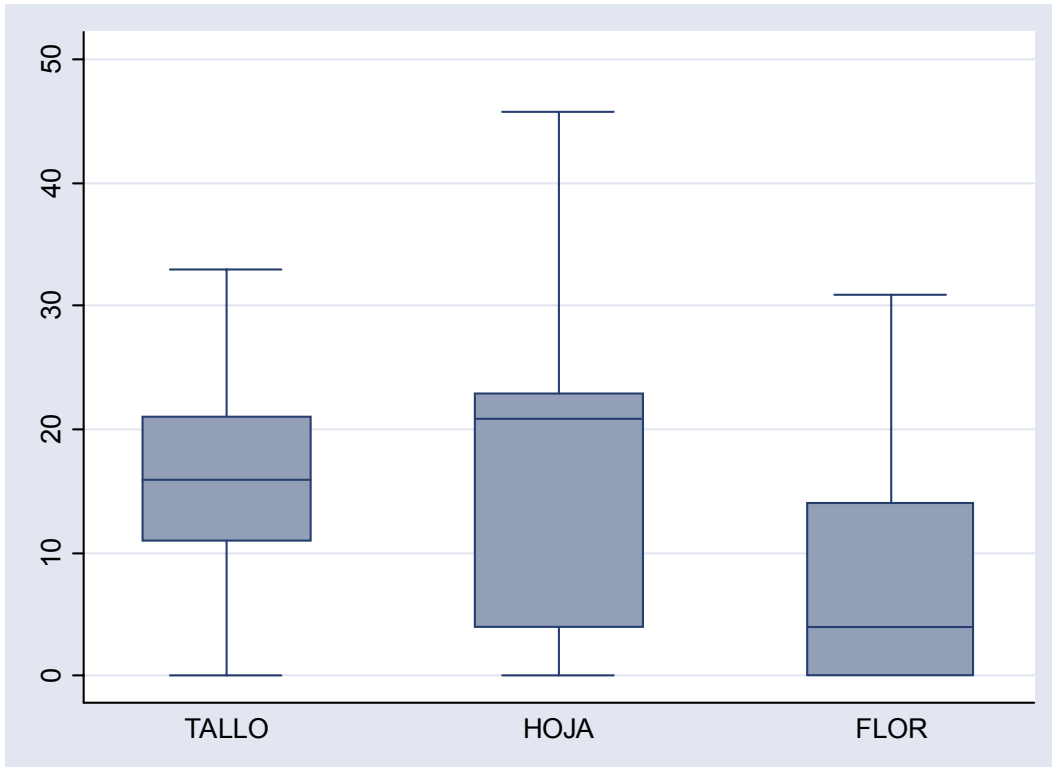
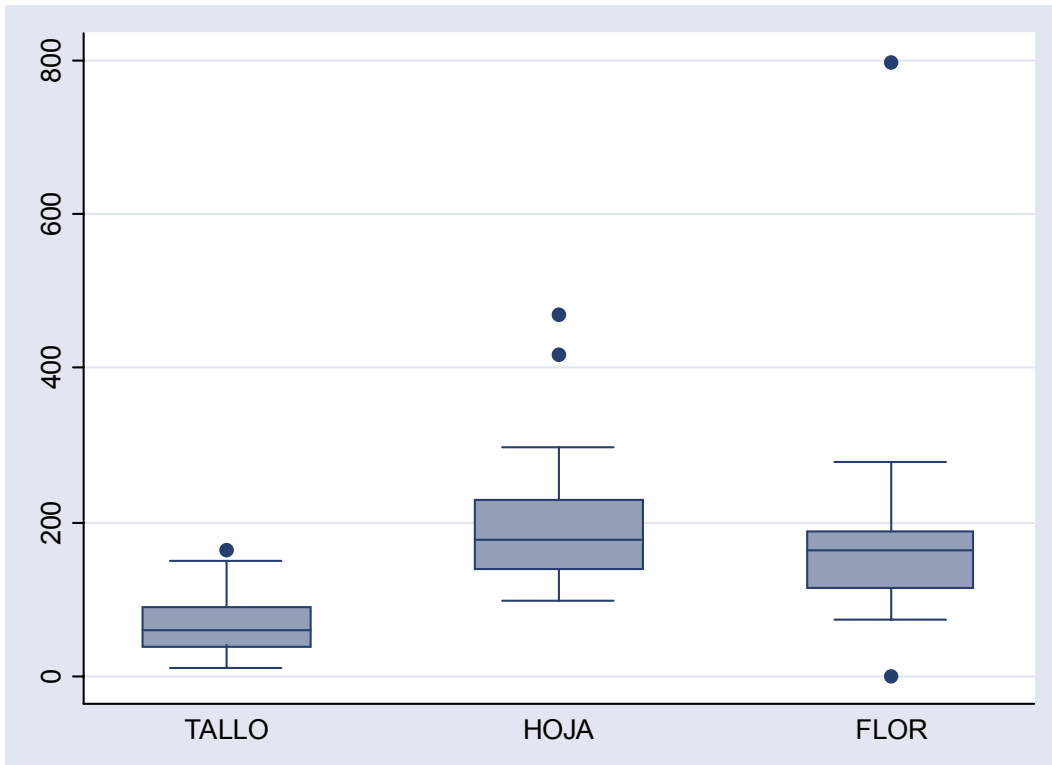


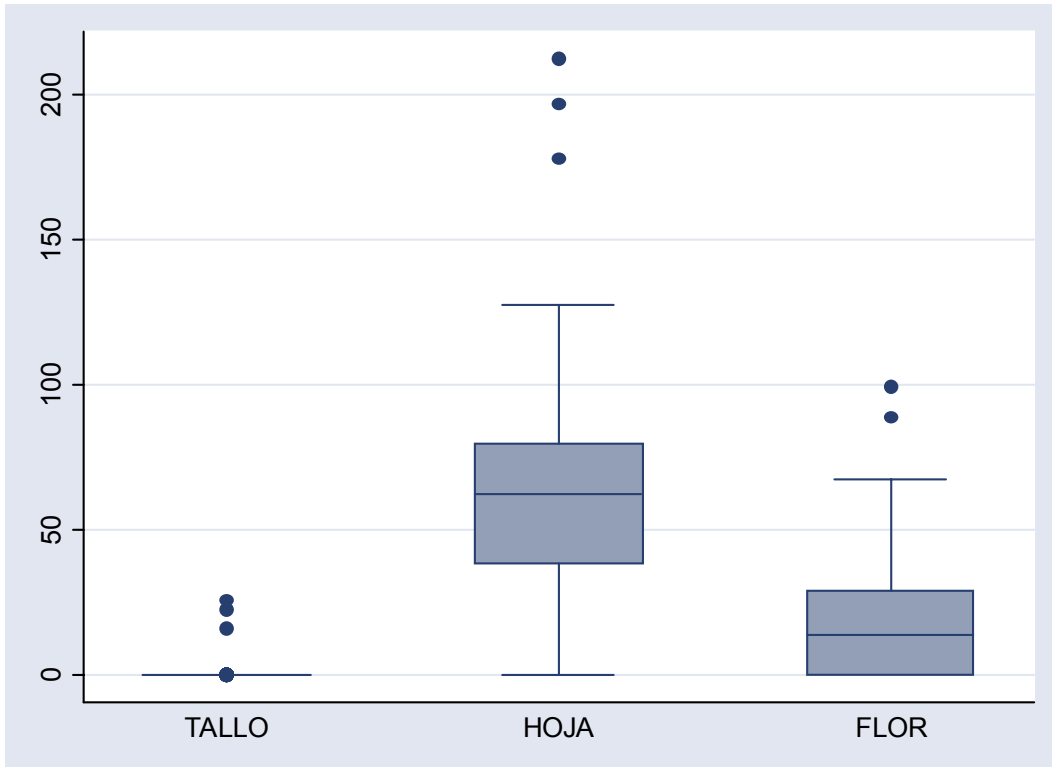
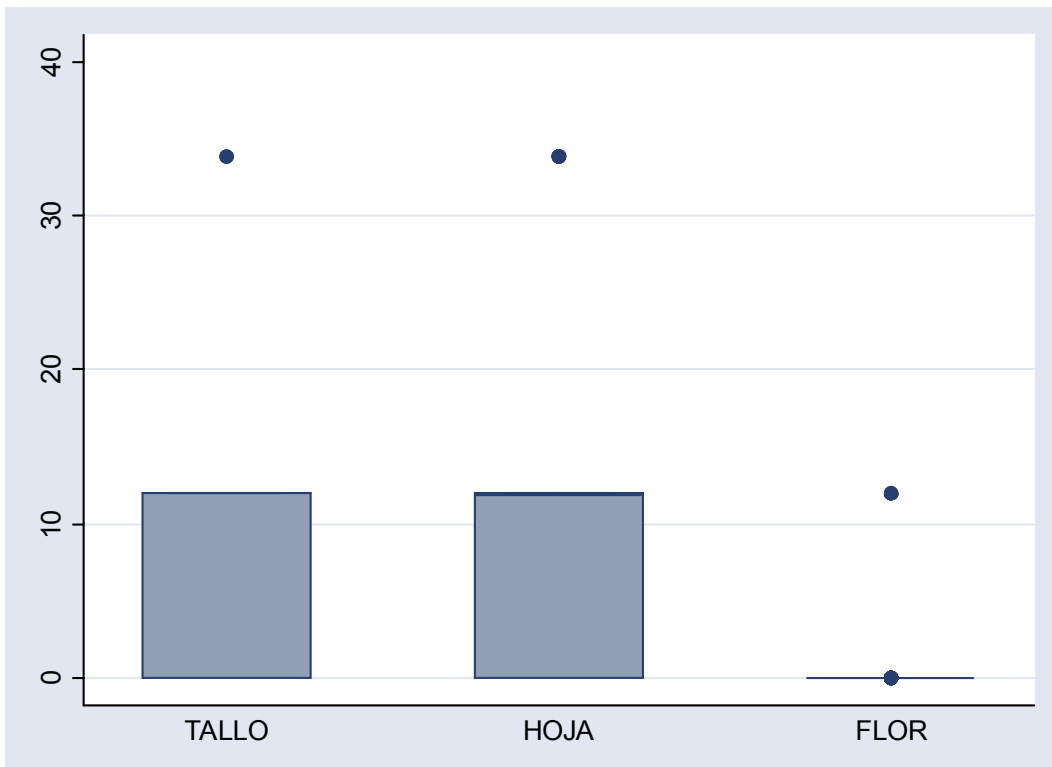
GRÁFICA 10. Concentración de sodio en Árnica (%).

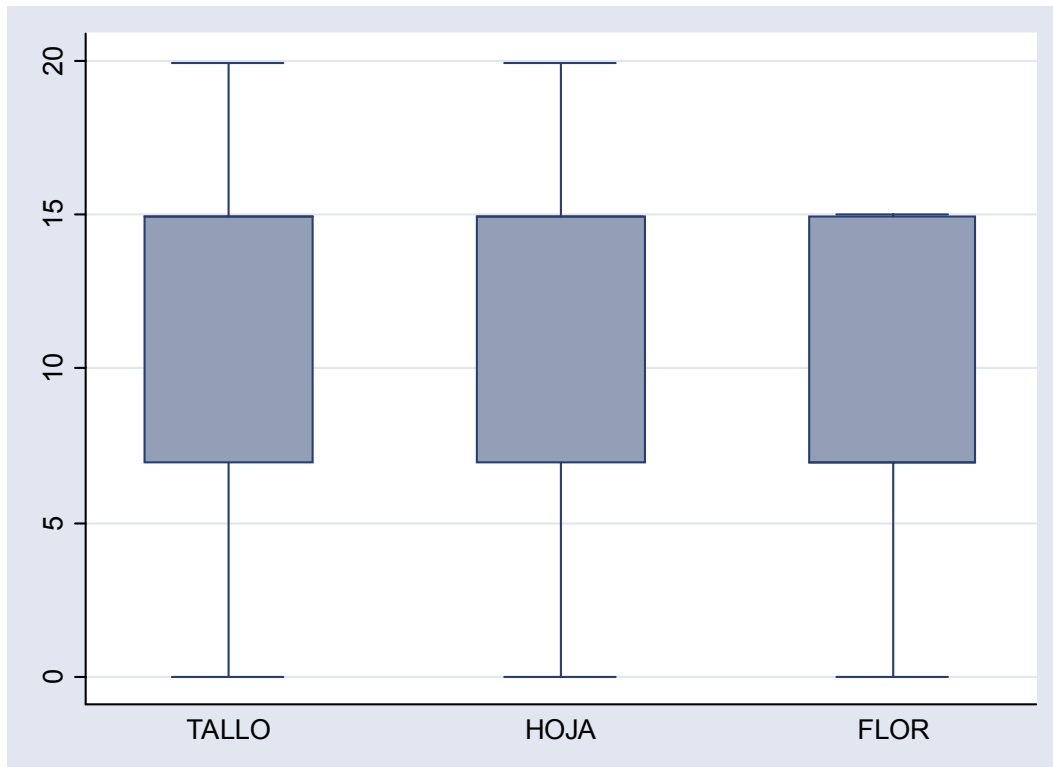
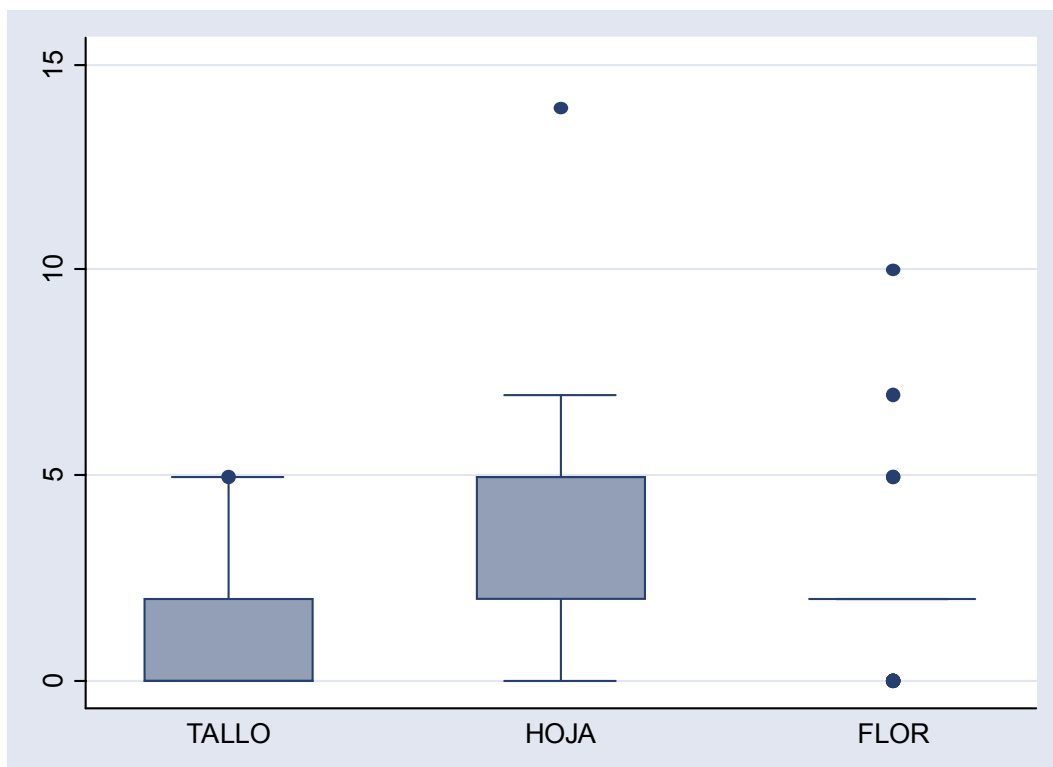


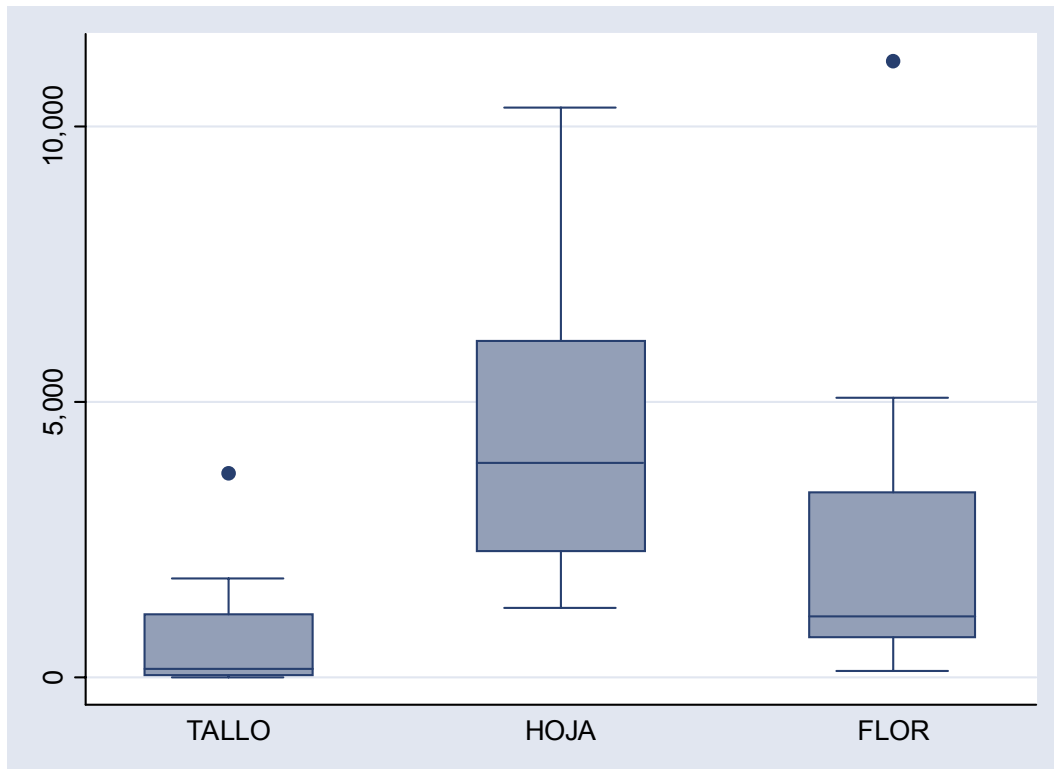
GRÁFICA 11. Concentración de potasio en Árnica (%).



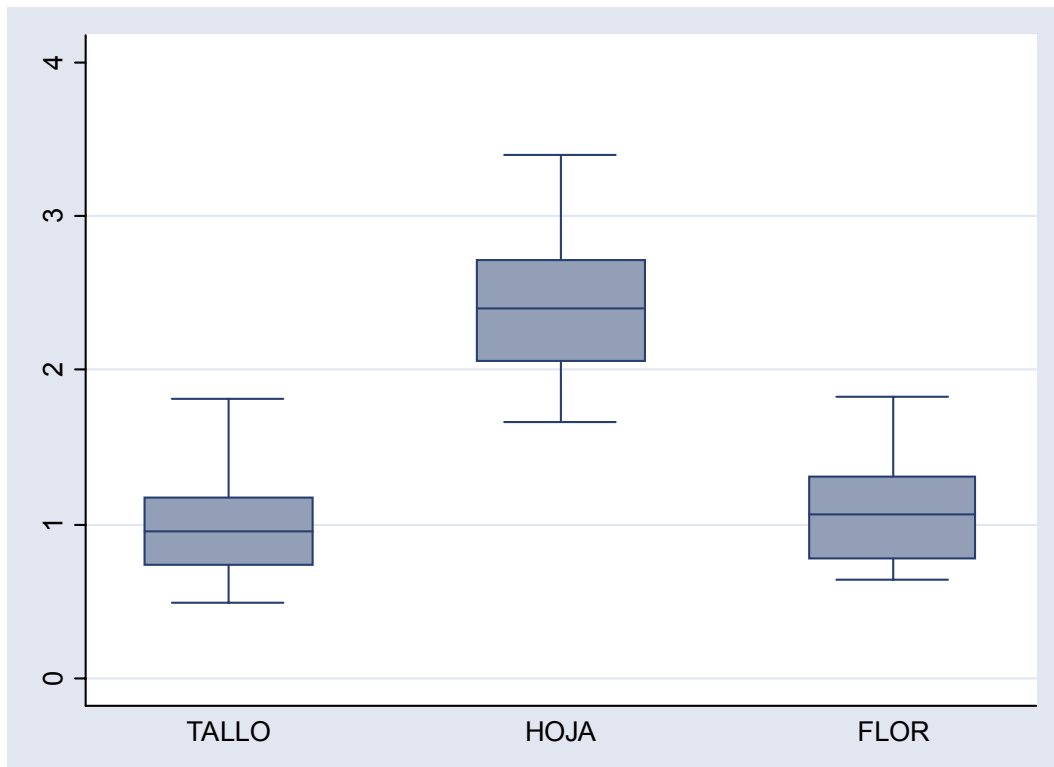
GRÁFICA 12. Concentración de cobre en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 13. Concentración de zinc en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

GRÁFICA 14. Concentración de hierro en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 15. Concentración de níquel en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

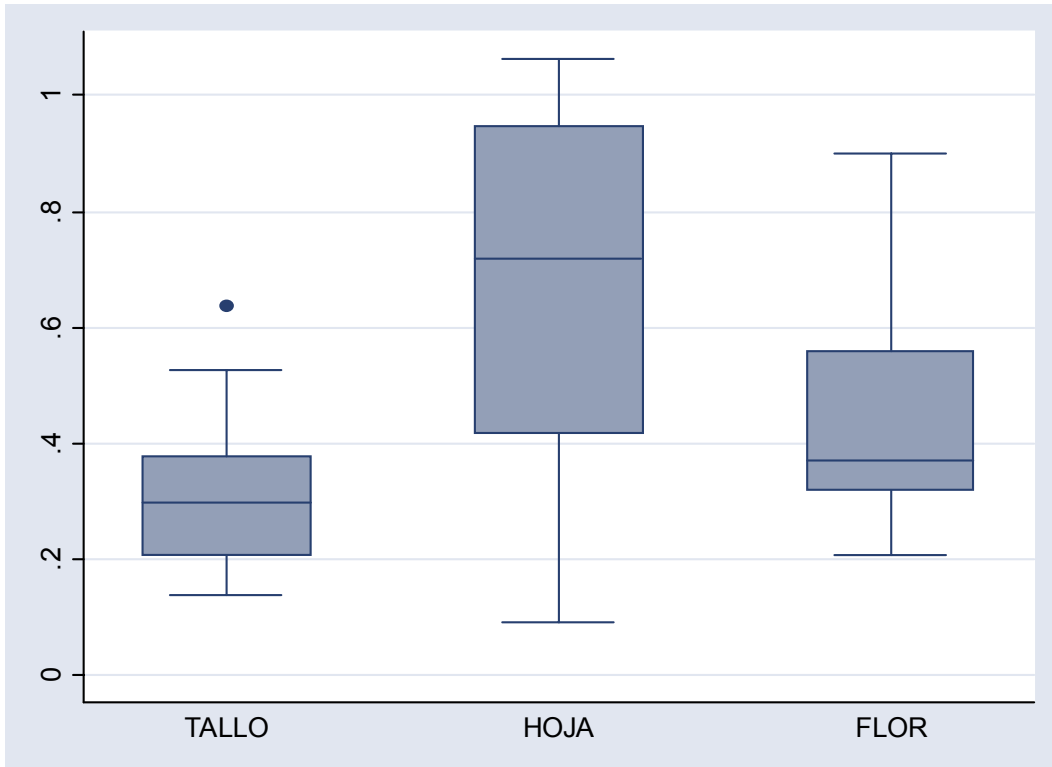
GRÁFICA 16. Concentración de cobalto en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).GRÁFICA 17. Concentración de cromo en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

GRÁFICA 18. Concentración de manganeso en Gordolobo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ).

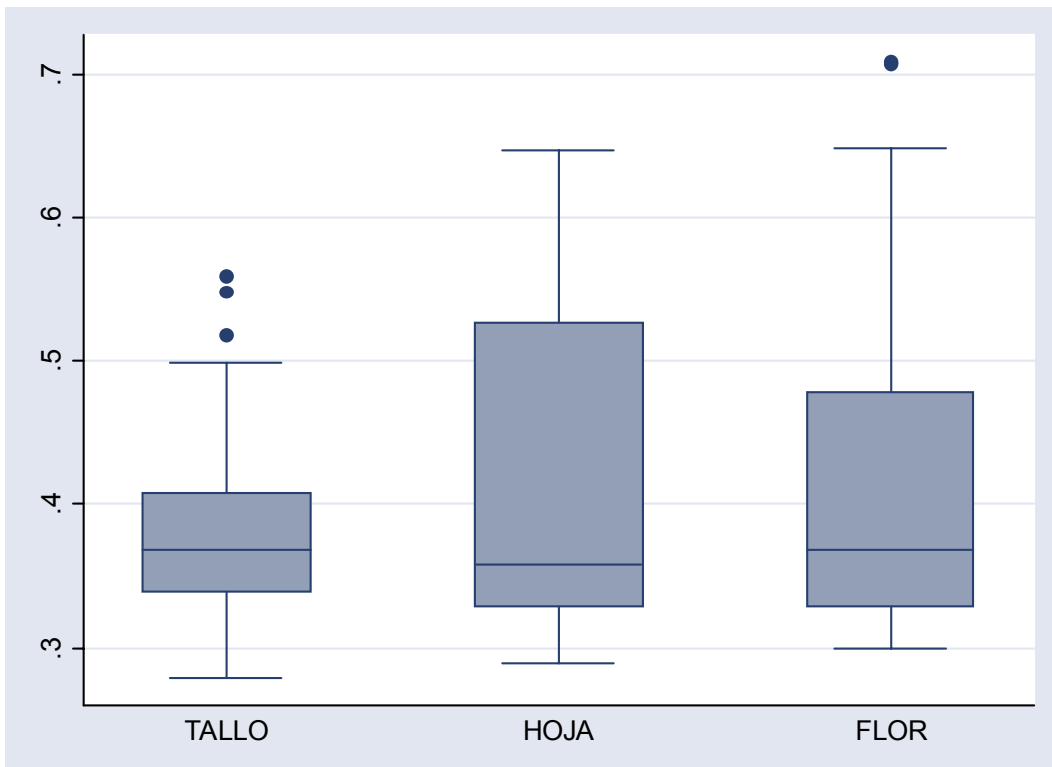
GRÁFICA 19. Concentración de calcio en Gordolobo (%).



GRÁFICA 20. Concentración de magnesio en Gordolobo (%).



GRÁFICA 21. Concentración de sodio en Gordolobo (%).





GRÁFICA 22. Concentración de potasio en Gordolobo (%).

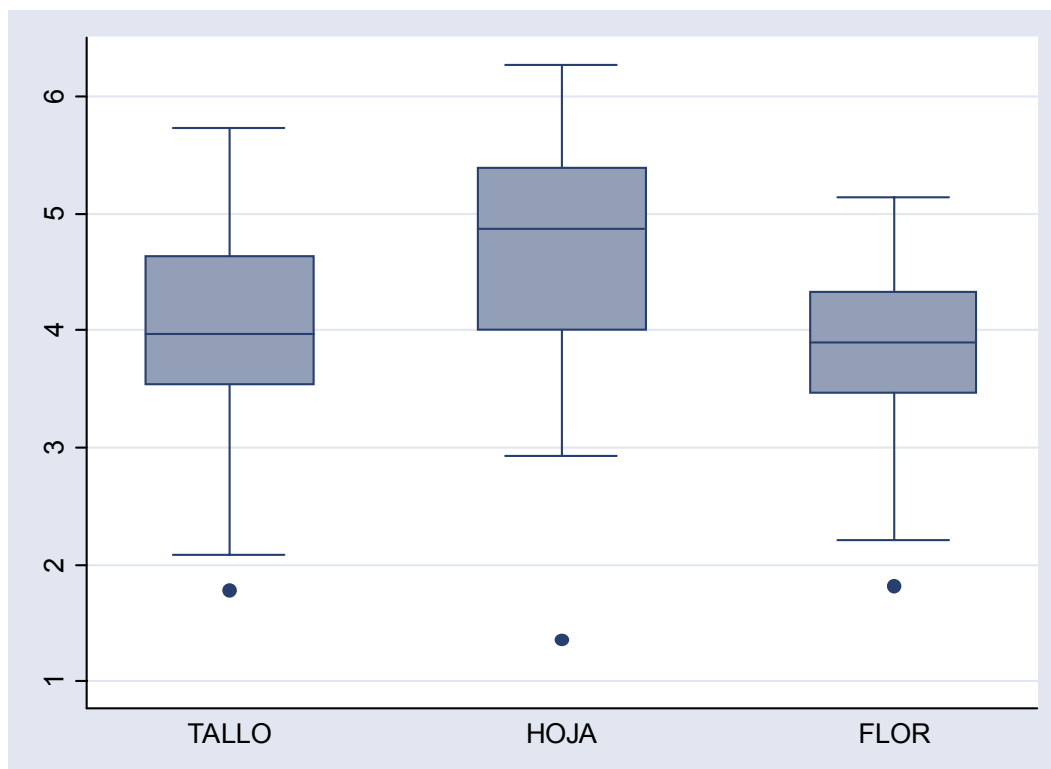


TABLA 5. Probabilidades obtenidas en el Análisis de Varianza.

ESPECIE	COBRE	ZINC	HIERRO	NIQUEL	COBALTO	CROMO	MANGANESO	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO
<b>ÁRNICA</b>	0,804	0,0001*	0,000*	**	0,685	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,346	0,936	0,0003*
<b>GORDOLOBO</b>	0,174	0,000*	**	0,0042*	0,537	0,002*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,005*	0,249

\*Al menos una mediana es diferente.

\*\*No se logró hacer el análisis estadístico debido a la gran variabilidad entre los datos.

**Ho** = Las medianas son iguales.

**Ha** = Al menos una mediana es diferente.

$$\alpha = 0.05$$

Si  $P > 0.05$ ; se acepta Ho.

Si  $P < 0.05$ ; se rechaza Ho.

TABLA 6. Pruebas estadísticas aplicadas a las probabilidades obtenidas en el Análisis de Varianza.

ESPECIE	COBRE	ZINC	HIERRO	NIQUEL	COBALTO	CROMO	MANGANESO	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO
<b>ÁRNICA</b>	0,804 *	0,0001 **	0,000 *	***	0,685 *	0,0001 **	0,0001 **	0,0001 **	0,346 *	0,936 *	0,0003 **
<b>GORDOLOBO</b>	0,174 *	0,000 *	***	0,0042 **	0,537 *	0,002 *	0,0001 **	0,0001 **	0,0001 **	0,005 *	0,249 *

\*Se aplicó la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni.

\*\*Se aplicó la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis.

\*\*\* No se logró hacer el análisis estadístico debido a la gran variabilidad entre los datos.

**Ho** = Las medianas son iguales.

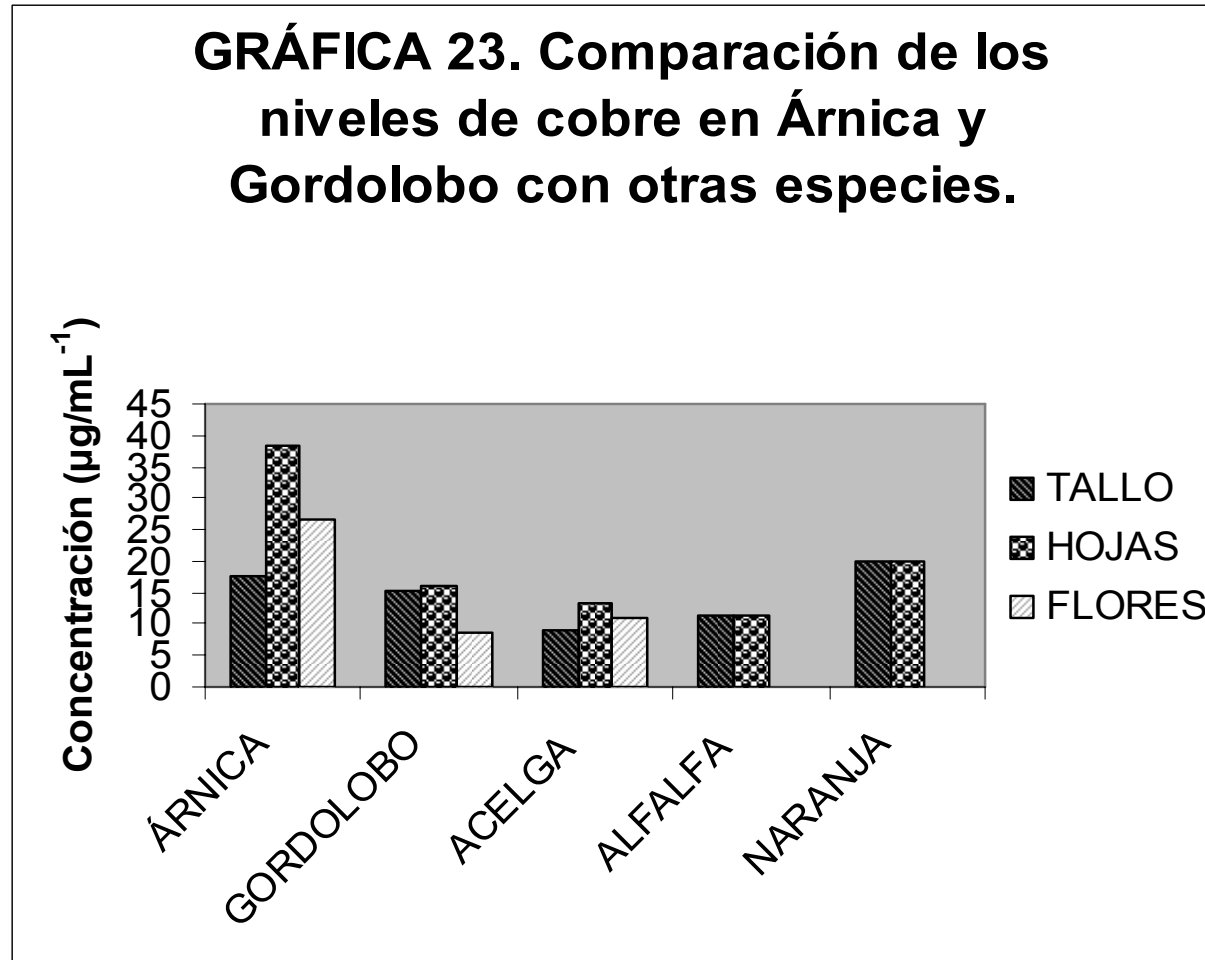
**Ha** = Al menos una mediana es diferente.

$$\alpha = 0.05$$

Si  $P > 0.05$ ; se acepta  $H_0$ .

Si  $P < 0.05$ ; se rechaza  $H_0$ .

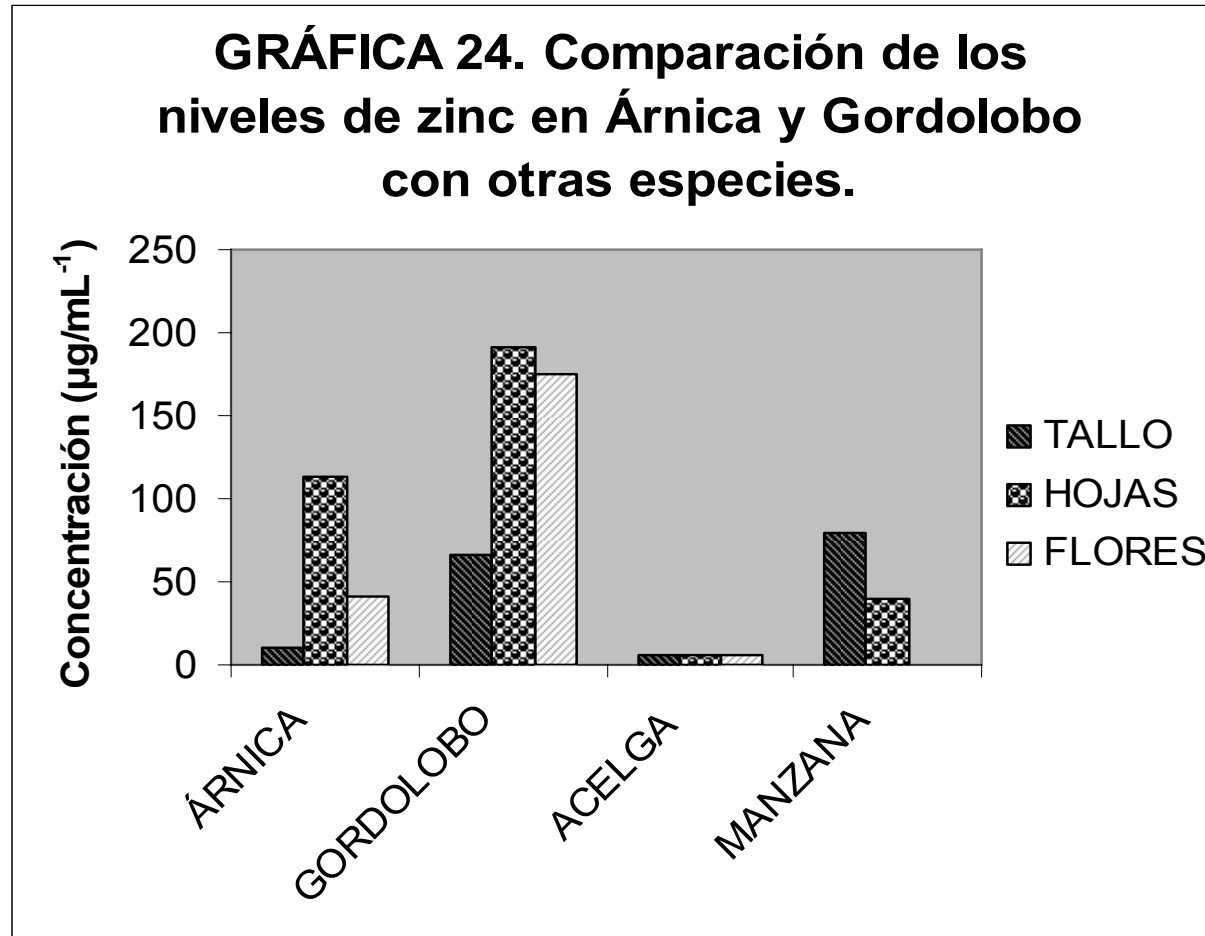
**GRÁFICA 23. Comparación de los niveles de cobre en Árnica y Gordolobo con otras especies.**



\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de cobre en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en flores "para Alfalfa y Naranja" debido a que no están reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para Alfalfa y Naranja de (Chapman, 1966).

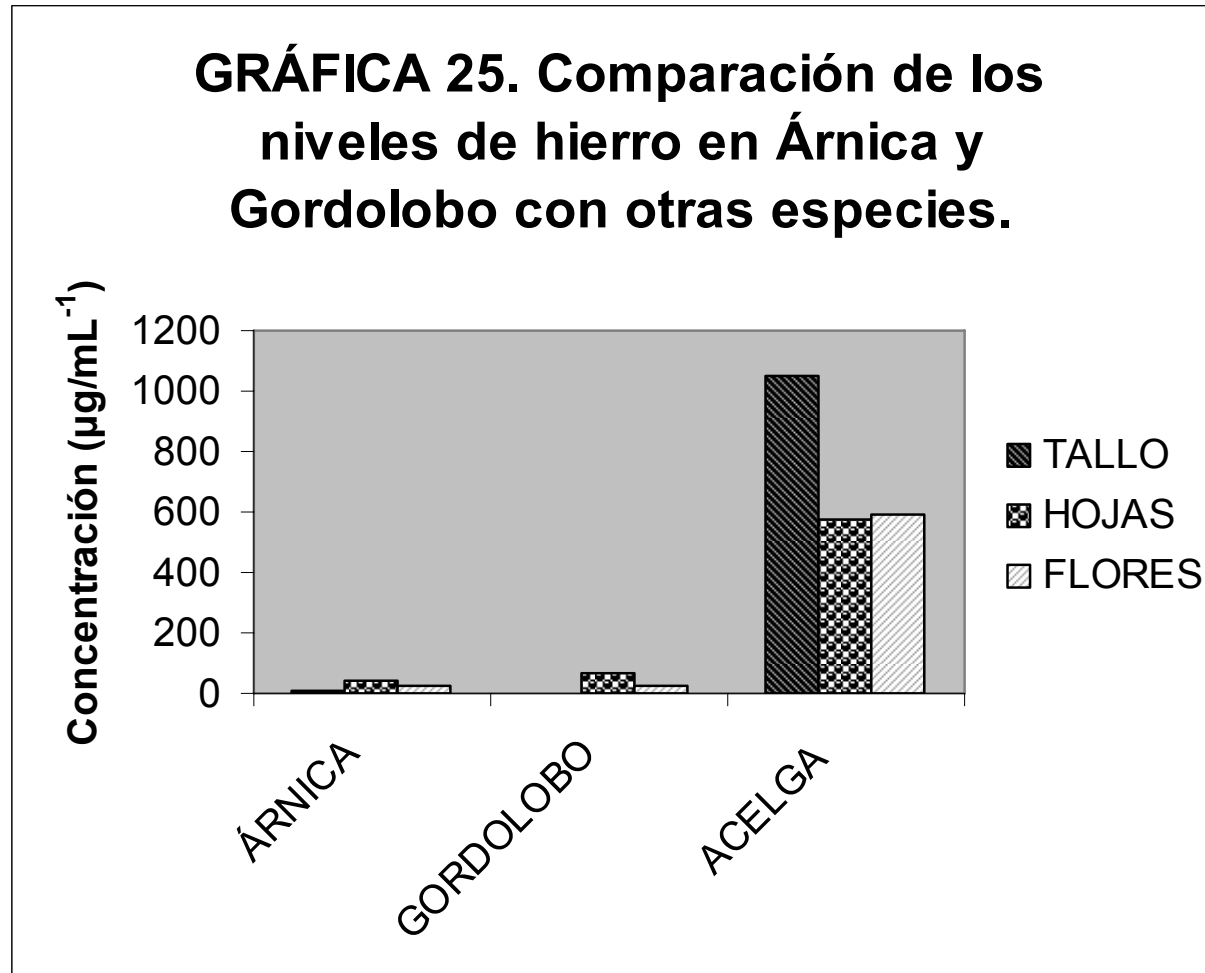


\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de zinc en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en flores "para manzana" debido a que no están reportados en la literatura.

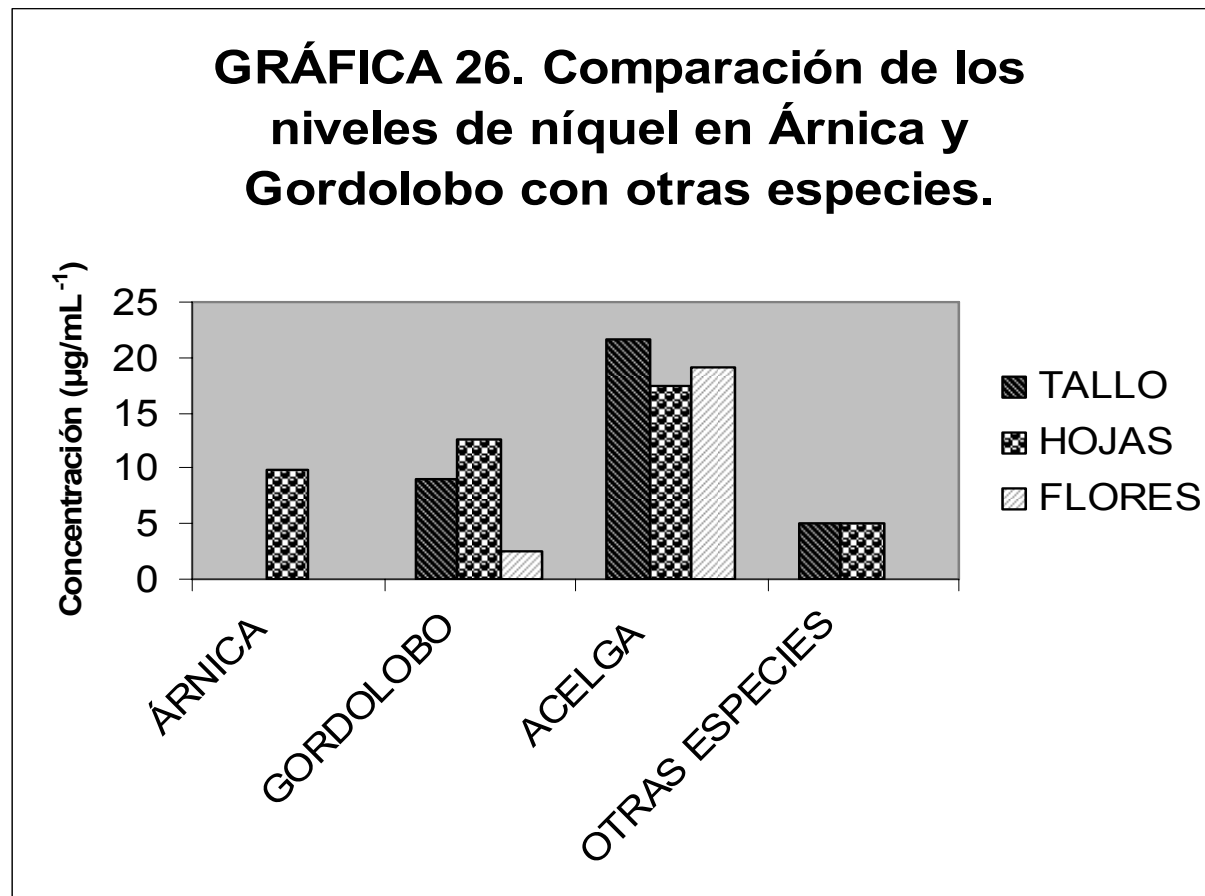
\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para Manzana de (Chapman, 1966).

**GRÁFICA 25. Comparación de los niveles de hierro en Árnica y Gordolobo con otras especies.**



\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de hierro en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

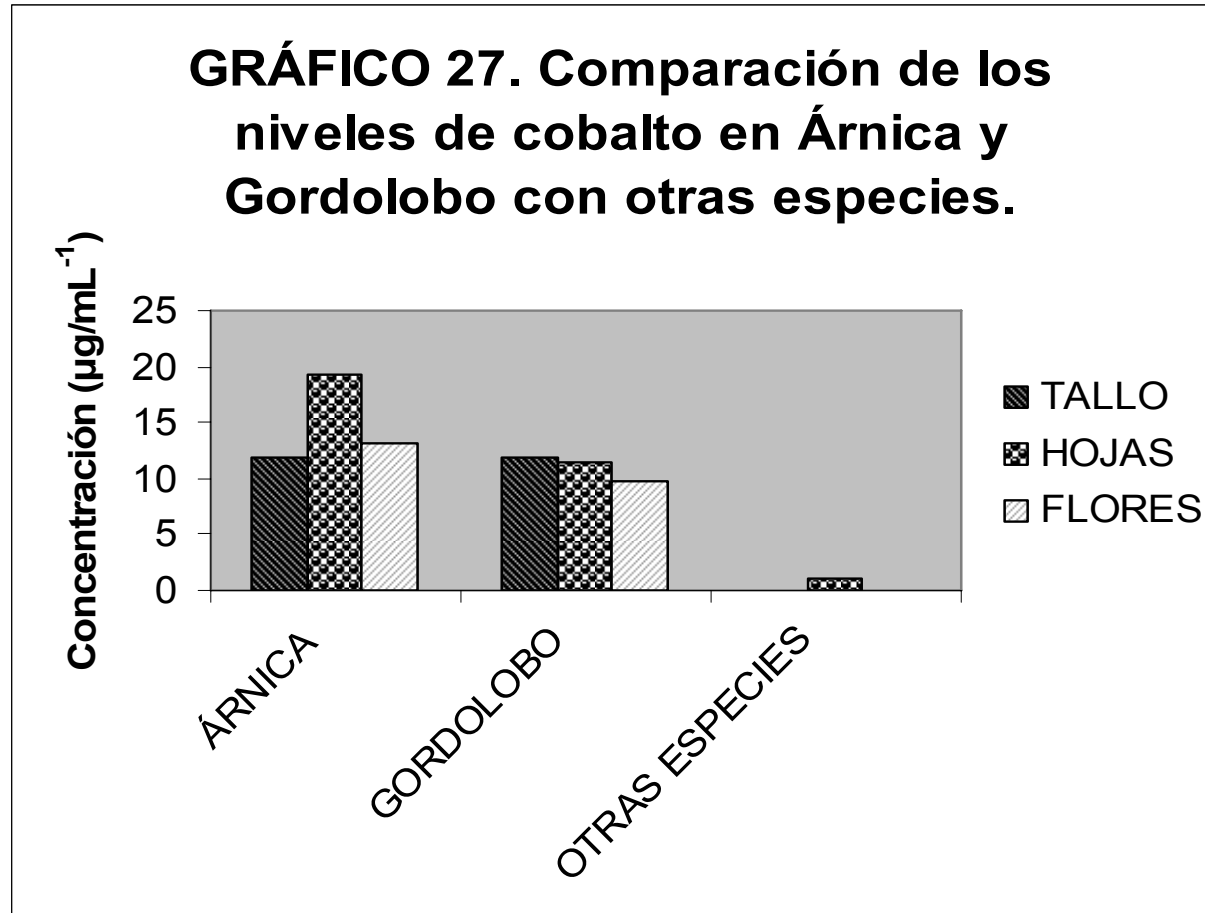
\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996).



\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de níquel en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en flores "para otras especies" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para otras especies de (Chapman, 1966).

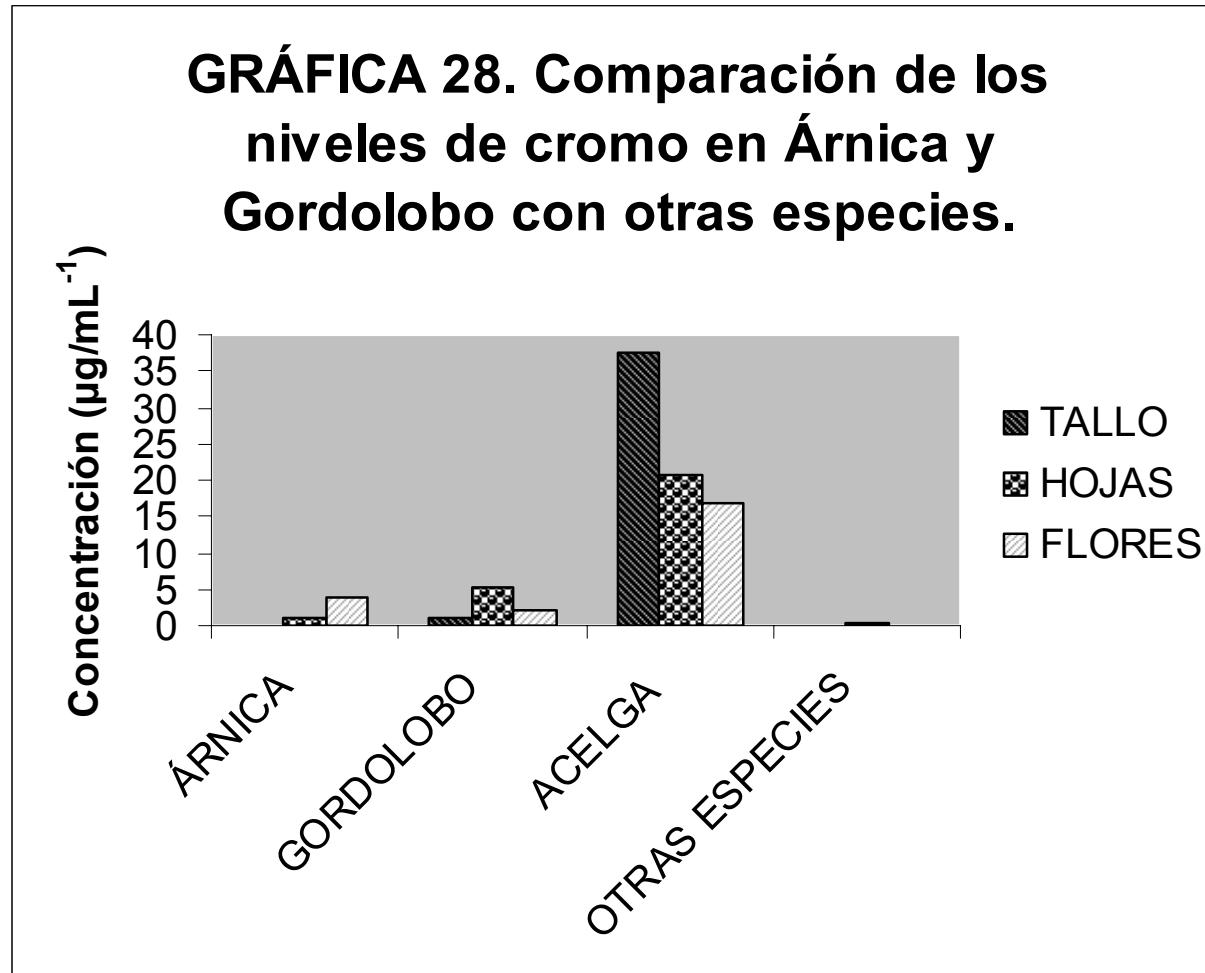


\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de cobalto en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en tallo y flores "para otras especies" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para otras especies fueron tomados de (Chapman, 1966).

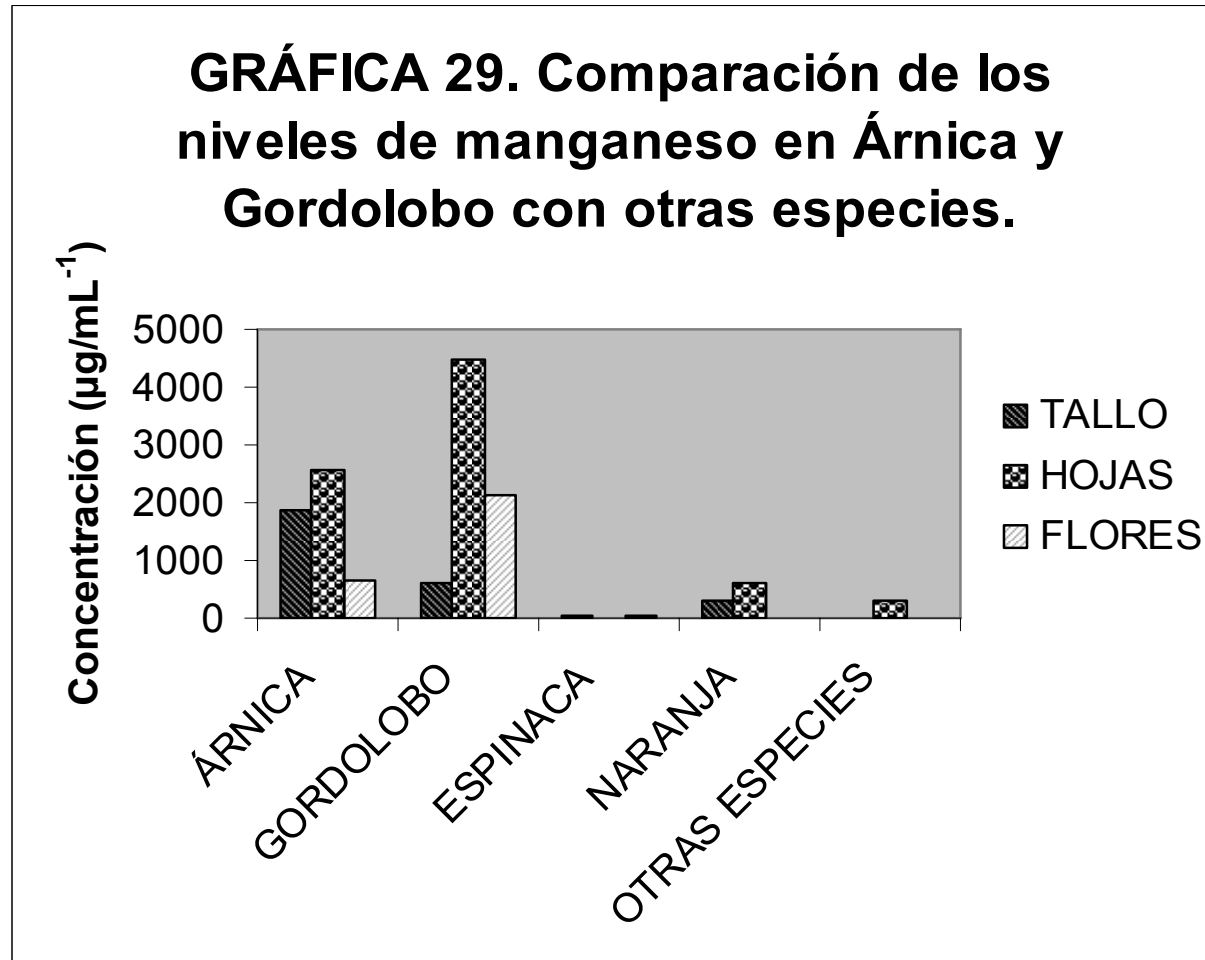




\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de cromo en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en tallo y flores "para otras especies" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para otras especies de (Chapman, 1966).

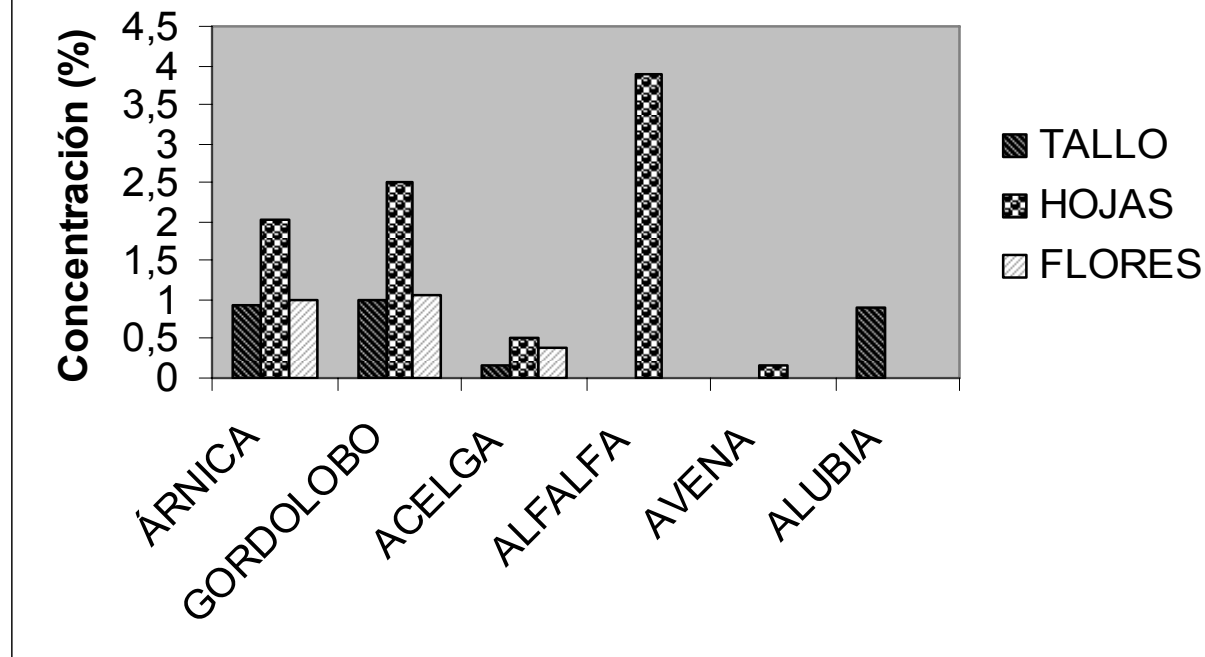


\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de manganeso en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores de todas las partes "para espinaca, naranja y otras especies" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Espinaca, Naranja y otras especies fueron tomados de (Chapman, 1966).

**GRÁFICA 30. Comparación de los niveles de calcio en Árnica y Gordolobo con otras especies.**

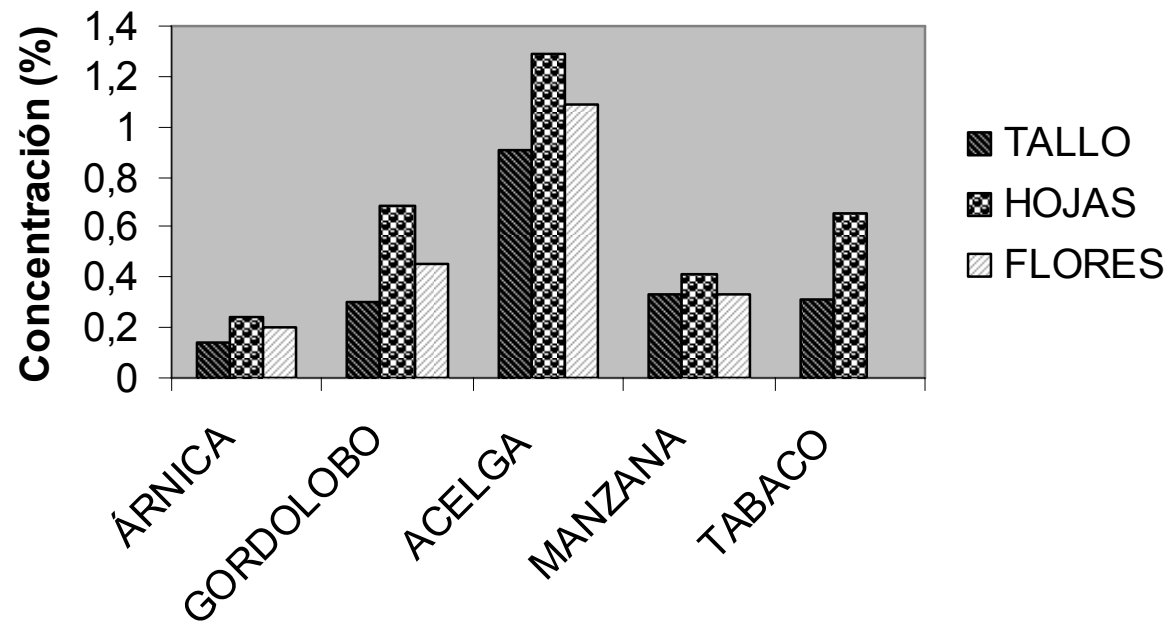


\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de calcio en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores de todas las partes "para acelga, alfalfa, avena y alubia" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para Alfalfa, Avena y Alubia de (Chapman, 1966).

**GRÁFICA 31. Comparación de los niveles de magnesio en Árnica y Gordolobo con otras especies.**

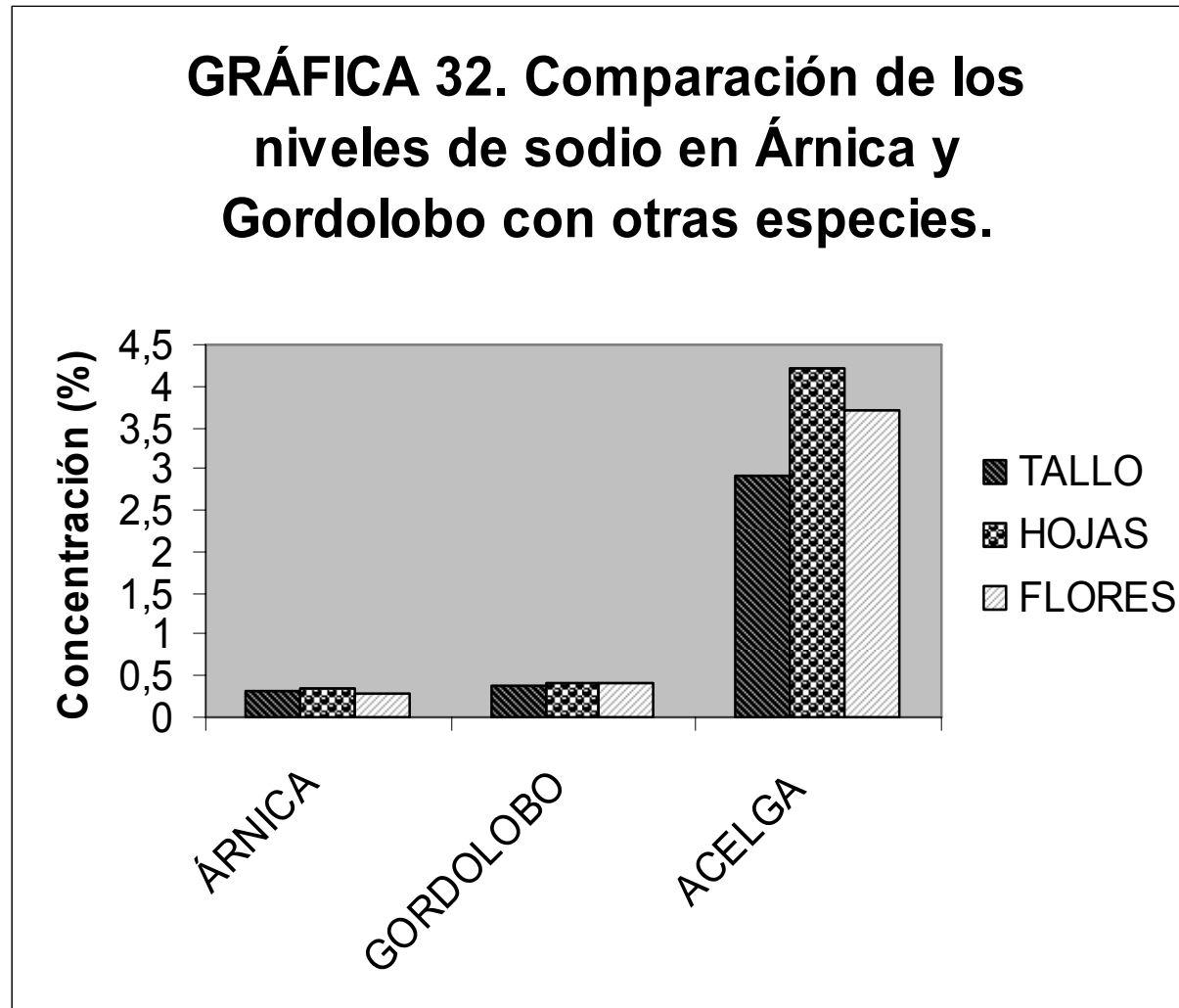


\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de magnesio en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*No se presentan valores en flores "para tabaco" debido a que no se encontraron reportados en la literatura.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para Manzana y Tabaco de (Chapman, 1966).

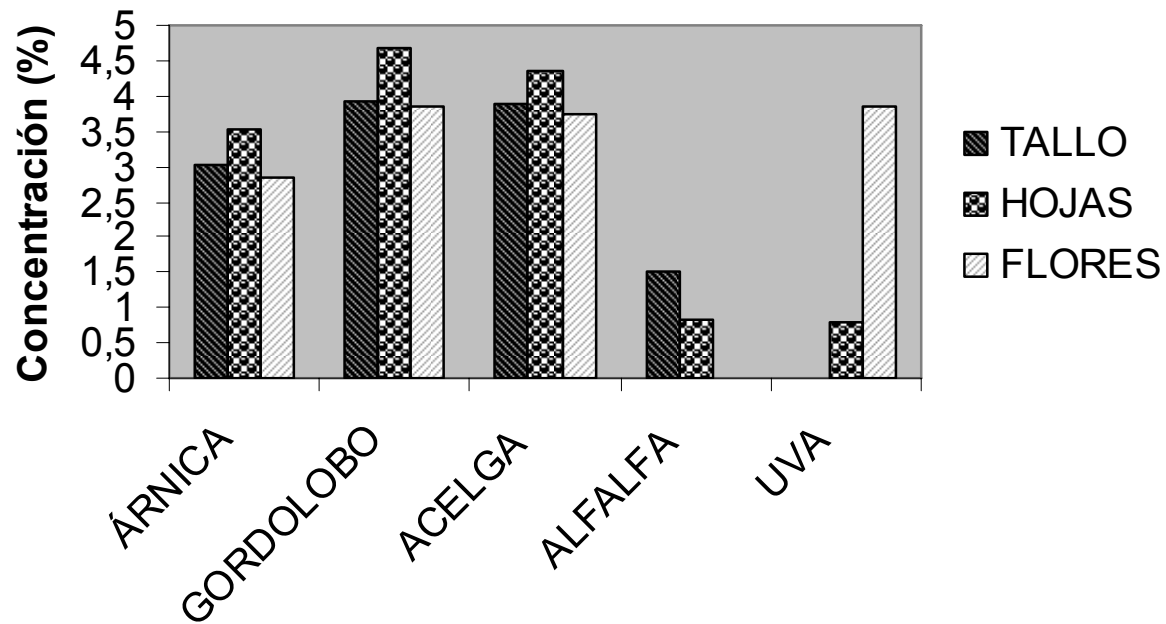
**GRÁFICA 32. Comparación de los niveles de sodio en Árnica y Gordolobo con otras especies.**



\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de sodio en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996).

**GRÁFICA 33. Comparación de los niveles de potasio en Árnica y Gordolobo con otras especies.**



\*Debido a que en la literatura no existen datos sobre las concentraciones de potasio en Árnica y Gordolobo, se presentaron valores de otras plantas para poder comparar las cantidades obtenidas de las especies estudiadas.

\*\*En las partes en donde no se presentan valores de las especies Alfalfa y Uva es debido a que en la literatura no están reportados.

\*\*\*Los valores para Acelga fueron tomados de (Grande, 1996) para Alfalfa y Uva de (Chapman, 1966)

TABLA 7. Valores de concentración de elementos en las diferentes especies de las Gráficas 23 a la 33.

cobre ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	17,7738	38,2251	26,5139
GORDOLOBO	15,2699	16,1446	8,6133
ACELGA	9,1670	13,3333	11,0000
ALFALFA	11,5000	11,5000	
NARANJA	20,0000	20,0000	

zinc ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	10,4657	113,4137	41,3655
GORDOLOBO	66,2131	191,9078	174,7828
ACELGA	6,0000	5,6670	5,3333
MANZANA	80,0000	40,0000	

hierro ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	7,9969	39,9469	24,9475
GORDOLOBO	1,9625	68,0007	21,8255
ACELGA	1052,0000	576,5000	593,2000

níquel ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	0	9,9356	0
GORDOLOBO	8,9342	12,6758	2,5390
ACELGA	21,6670	17,5000	19,1670
OTRAS ESPECIES	5,0000	5,0000	

cobalto ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	11,9600	19,3286	13,2325
GORDOLOBO	11,8001	11,4091	9,7943
OTRAS ESPECIES		1,0000	

cromo ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	0	0,9027	3,9088
GORDOLOBO	0,9655	5,1644	2,1467
ACELGA	37,5000	20,8333	16,6670
OTRAS ESPECIES		0,5000	

manganeso ( $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ )			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	1883,5478	2572,5071	665,4257
GORDOLOBO	591,9657	4462,0833	2111,7171
ESPINACA	31,0000		31,0000
NARANJA	320,0000	630,0000	
OTRAS ESPECIES		300,0000	

calcio (%) Y mg			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	0,9177 %	2,0168 %	0,9971 %
	9,177 mg	20,168 mg	9,971 mg
GORDOLOBO	1,0053 %	2,4979 %	1,0664 %
	10,053 mg	24,979 mg	10,664 mg
ACELGA	0,1690 %	0,5008 %	0,3887 %
ALFALFA		3,8800 %	
AVENA		0,1700 %	
ALUBIA	0,9000 %		

magnesio (%) Y mg			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	0,1382 %	0,2466 %	0,1999 %
	1,382 mg	2,466 mg	1,999 mg
GORDOLOBO	0,3042 %	0,6816 %	0,4557 %
	3,042 mg	6,816 mg	4,557 mg
ACELGA	0,9107 %	1,2878 %	1,0887 %
MANZANA	0,3300 %	0,4100 %	0,3300 %
TABACO	0,3100 %	0,6500 %	

sodio (%) Y mg			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	0,3068 %	0,3625 %	0,2848 %
	3,068 mg	3,625 mg	2,848 mg
GORDOLOBO	0,3802 %	0,4167 %	0,3186 %
	3,802 mg	4,167 mg	3,186 mg
ACELGA	2,9233 %	4,2100 %	3,6983 %



potasio (%) Y mg			
Especie/Parte	TALLO	HOJAS	FLORES
ÁRNICA	3,0242 %	3,5315 %	2,8582 %
	30,242 mg	35,315 mg	28,582 mg
GORDOLOBO	3,9309 %	4,6760 %	3,8629 %
	39.309 mg	46.760 mg	38.629 mg
ACELGA	3,8833 %	4,3667 %	3,7533 %
ALFALFA	1,5000 %	0,8300 %	
UVA		0,7800 %	3,8500 %

Determinación taxonómica de Gordolobo:

Se tomaron 3 inflorescencias en diferentes partes de la planta de cada una de las 33 muestras; se dejaron remojando por 5 minutos en agua caliente; se colocaron en una caja petri, utilizando un estilete y con la ayuda de un estereoscopio; se contaron cabezuelas (Fotos 1, 2), brácteas (Foto 3), flores femeninas y hermafroditas (Fotos 4-7); también se midió el tamaño de las flores, cabezuelas y se observó el color del ápice. Con estos resultados se procedió a la caracterización, obteniendo los datos reportados en la Gráfica 34.



FOTO 1. Cabezuelas al momento en que se llevó a cabo el conteo para la identificación de Gordolobo Mexicano.



FOTO 2. Cabezuelas al momento en que se llevó a cabo el conteo para la identificación de Gordolobo Mexicano.

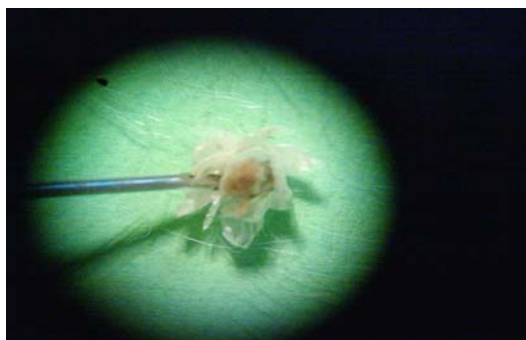


FOTO 3. Conteo de brácteas para la identificación de Gordolobo Mexicano.



FOTO 4. Caracterización entre flores femeninas y hermafroditas para la identificación de Gordolobo Mexicano.

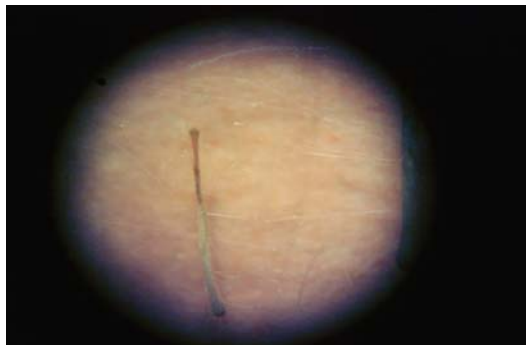


FOTO 5. Caracterización entre flores femeninas y hermafroditas para la identificación de Gordolobo Mexicano.

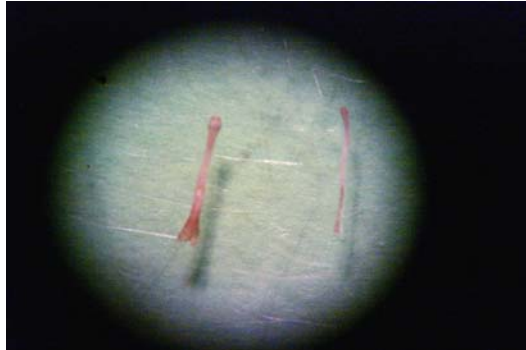


FOTO 6. Caracterización entre flores femeninas y hermafroditas para la identificación de Gordolobo Mexicano.

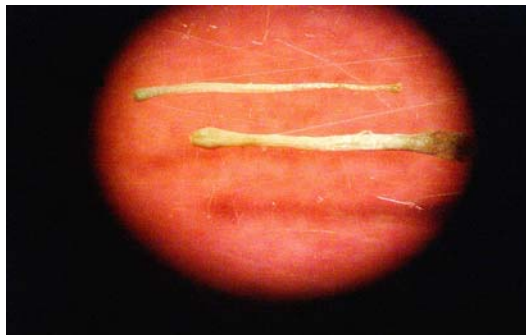
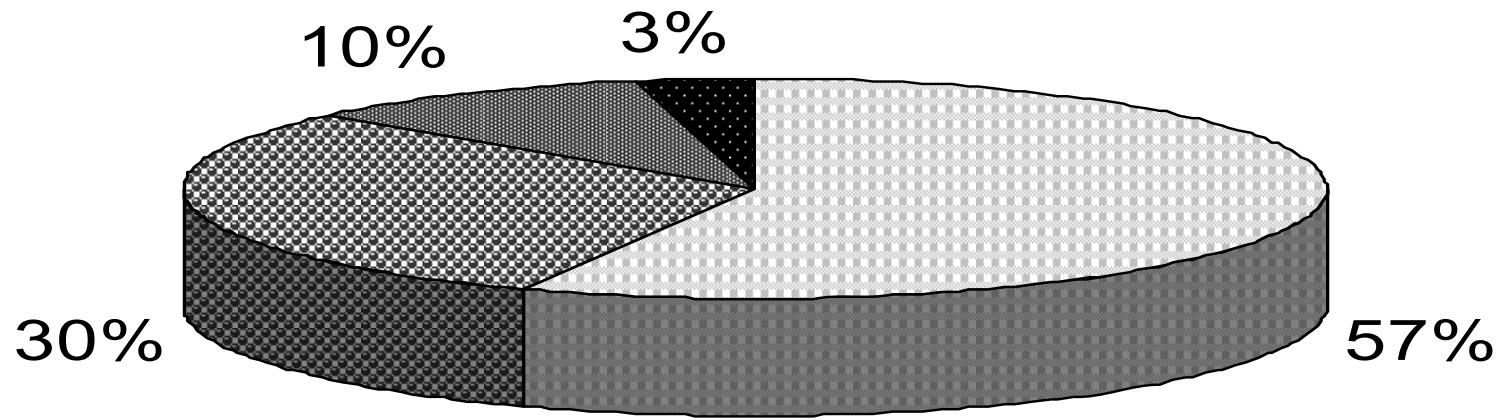


FOTO 7. Caracterización entre flores femeninas y hermafroditas para la identificación de Gordolobo Mexicano.

**GRÁFICA 34. % de las diferentes especies estudiadas para Gordolobo Mexicano.**



■ Gnaphalium semiamplexiacaule DC.    ▣ Gnaphalium oxyphyllum DC.  
■ Gnaphalium conoideum HBK.        ■ Gnaphalium bourgovii Gray.

\*Los parámetros que se tomaron en cuenta para la clasificación de especies fueron tomados de (Rzedowski y Rzedowski de G, 1985) y (FHEUM. SSA. 2001).

---

**Determinación taxonómica de Árnica:**

Se tomaron 3 cabezuelas de cada una de las 33 muestras; se dejaron remojando por 5 minutos en agua caliente; se colocaron en una caja petri, utilizando un estilete y con la ayuda de un estereoscopio; se contaron brácteas, flores liguladas, flores del disco (Fotos 8-11); asimismo se midió la longitud de las flores y se les determinó su sexo. Al caracterizar los resultados se obtuvieron los datos de la Gráfica 35.

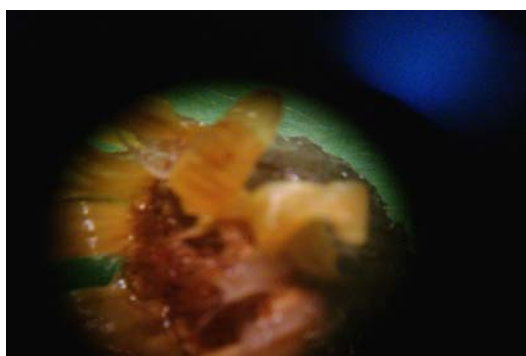


FOTO 8. Cabezuela y flores liguladas al momento en que se llevó a cabo la identificación de Árnica Mexicana.

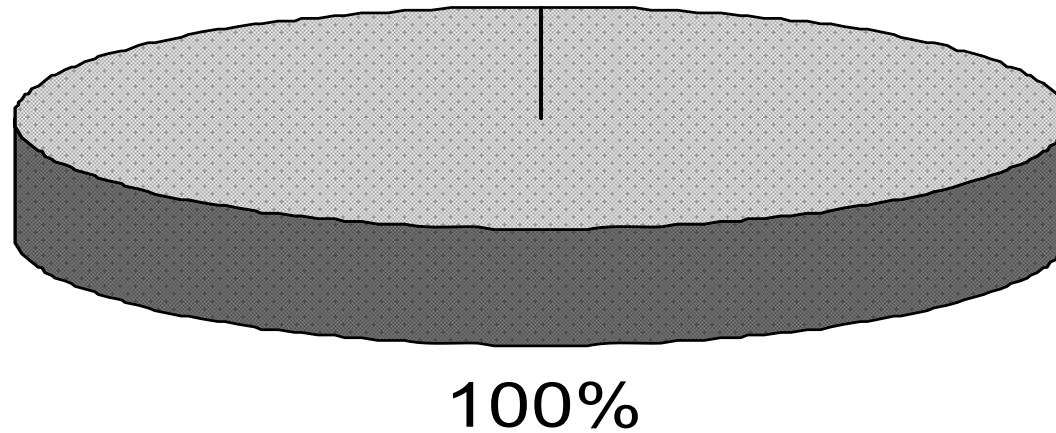


FOTO 9. Flor hermafrodita del disco al momento en que se llevó a cabo el conteo para la identificación de Árnica Mexicana.



FOTO 10 y 11. Flores liguladas al momento en que se llevó a cabo el conteo para la identificación de Árnica Mexicana.

### GRÁFICA 35. % de especies estudiadas para Árnica Mexicana.



■ Heterotheca inuloides Cass

\*Los parámetros que se tomaron en cuenta para la clasificación de especies fueron tomados de (Rzedowski y Rzedowski de G, 1985) y (FHEUM. SSA. 200

## LINEALIDAD DEL SISTEMA.

TABLA 8. Resultados de linealidad del sistema para Cu.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0205\%$ $r = 0,9906$ $r^2 = 0,9812$	<b>Es lineal</b>

TABLA 9. Resultados de linealidad del sistema para Zn.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0208\%$ $r = 0,99$ $r^2 = 0,9801$	<b>Es lineal</b>

TABLA 10. Resultados de linealidad del sistema para Fe.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0153\%$ $r = 0,9953$ $r^2 = 0,9906$	<b>Es lineal</b>

TABLA 11. Resultados de linealidad del sistema para Ni.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0\%$ $r = 0,9999$ $r^2 = 0,9999$	<b>Es lineal</b>

TABLA 12. Resultados de linealidad del sistema para Co.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0\%$ $r = 0,9999$ $r^2 = 0,9999$	<b>Es lineal</b>

TABLA 13. Resultados de linealidad del sistema para Cr.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0151\%$ $r = 0,9934$ $r^2 = 0,9868$	<b>Es lineal</b>

TABLA 14. Resultados de linealidad del sistema para Mn.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,0212\%$ $r = 0,9978$ $r^2 = 0,9956$	<b>Es lineal</b>

TABLA 15. Resultados de linealidad del sistema para Ca.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,9800\%$ $r = 0,9924$ $r^2 = 0,9848$	<b>Es lineal</b>

TABLA 16. Resultados de linealidad del sistema para Mg.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 0,9556\%$ $r = 0,9999$ $r^2 = 0,9801$	<b>Es lineal</b>

TABLA 17. Resultados de linealidad del sistema para Na.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 1,4200\%$ $r = 0,9925$ $r^2 = 0,9850$	<b>Es lineal</b>

TABLA 18. Resultados de linealidad del sistema para K.

Criterio de aceptación	Resultados	Conclusión
$CV \leq 1,5\%$ $r \geq 0,99$ $r^2 \geq 0,98$	$CV = 3,2700\%$ $r = 0,6548$ $r^2 = 0,4287$	<b>No es lineal</b>



## PRECISIÓN DEL SISTEMA.

TABLA 19. Resultados de precisión del sistema.

Elemento	Criterio de Aceptación	Resultados	Conclusión
Cu	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Zn	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0011%	<b>Es preciso</b>
Fe	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Ni	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Co	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Cr	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Mn	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Ca	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Mg	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
Na	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0%	<b>Es preciso</b>
K	C.V. $\leq$ 1,5%	C.V. = 0,0652%	<b>Es preciso</b>

## LINEALIDAD DEL MÉTODO.

TABLA 20. Resultados de linealidad del método.

Elemento	Criterio de Aceptación	Resultados	Conclusión
Cu	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 0,3566 % $r^2 = 0,9982$	<b>Es lineal</b>
Zn	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 0,4380 % $r^2 = 0,9942$	<b>Es lineal</b>
Fe	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 1,8200 % $r^2 = 0,9912$	<b>Es lineal</b>
Ni	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 0,0 % $r^2 = 0,9998$	<b>Es lineal</b>
Co	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 0,6899 % $r^2 = 0,9924$	<b>Es lineal</b>
Cr	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 0,0 % $r^2 = 0,9998$	<b>Es lineal</b>
Mn	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 2,1233 % $r^2 = 0,9884$	<b>Es lineal</b>
Ca	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 2,9350 % $r^2 = 0,9816$	<b>Es lineal</b>
Mg	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 2,8780 % $r^2 = 0,9833$	<b>Es lineal</b>
Na	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 2,9566 % $r^2 = 0,9807$	<b>Es lineal</b>
K	C.V. $\leq$ 3,0 % $r^2 \geq 0,98$	C.V. = 4,2670 % $r^2 = 0,5650$	<b>No es lineal</b>

## PORCENTAJE DE RECOBRO.

TABLA 21. Resultados de Porcentaje de Recobro.

Elemento	Criterio de Aceptación	Resultados	Conclusión
Cu	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,4810%	<b>Es recobable</b>
Zn	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,5333%	<b>Es recobable</b>
Fe	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,9970%	<b>Es recobable</b>
Ni	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,0%	<b>Es recobable</b>
Co	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,5340%	<b>Es recobable</b>
Cr	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,0%	<b>Es recobable</b>
Mn	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,8240%	<b>Es recobable</b>
Ca	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,7450%	<b>Es recobable</b>
Mg	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 1,3400%	<b>Es recobable</b>
Na	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,7499%	<b>Es recobable</b>
K	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 41,9799%	<b>No es recobable</b>

## EXACTITUD Y REPETIBILIDAD.

TABLA 22. Resultados de Exactitud y Repetibilidad del método.

Elemento	Criterio de Aceptación	Resultados	Conclusión
Cu	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,0550%	<b>Es repetible y exacto</b>
Zn	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,3333%	<b>Es repetible y exacto</b>
Fe	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,9799%	<b>Es repetible y exacto</b>
Ni	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,0%	<b>Es repetible y exacto</b>
Co	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,9780%	<b>Es repetible y exacto</b>
Cr	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,0%	<b>Es repetible y exacto</b>
Mn	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,6266%	<b>Es repetible y exacto</b>
Ca	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,4583%	<b>Es repetible y exacto</b>
Mg	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 0,8666%	<b>Es repetible y exacto</b>
Na	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 2,2720%	<b>Es repetible y exacto</b>
K	C.V. $\leq$ 3,0%	C.V. = 7,4170%	<b>No es repetible y exacto</b>

## LÍMITE DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN.

TABLA 23. Límite de detección y cuantificación en  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

ELEMENTO	Límite de detección	Límite de cuantificación
Cu	0,0258	0,0782
Zn	0,0083	0,0278
Fe	0,0054	0,0164
Ni	0,0042	0,0142
Co	0,0033	0,0101
Cr	0,0014	0,0048
Mn	0,0104	0,0315
Ca	0,0051	0,0171
Mg	0,0042	0,0129
Na	0,0045	0,0137
K	0,0059	0,0179

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente estudio se cuantificaron las concentraciones de 9 elementos constituyentes (Cu, Zn, Fe, Co, Mn, Ca, Mg, Na y K) y 2 elementos contaminantes (Ni y Cr) en las diferentes estructuras (tallo, hoja y flor) de Gordolobo Mexicano, Flor (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana, Flor (*Heterotheca inuloides* Cass) por  $\square$ hoquecillo $\square$  de Absorción Atómica.

Por lo anterior este trabajo resulta ser de gran importancia, debido a que el consumo de plantas medicinales por parte de la población es muy frecuente, por ello la caracterización es necesaria, así como los factores que beneficien o perjudiquen son relevantes para garantizar la calidad de las mismas y a su vez resulta interesante, ya que están ampliamente relacionadas con la salud de las personas que las consumen.

Es relevante mencionar que se llevó a cabo la determinación taxonómica de las plantas estudiadas de acuerdo con las características citadas para cada especie en la FHEUM, así como en claves taxonómicas de Rzedowski, J. y con ello se obtuvieron los resultados de las Gráficas 34 y 35.

En el Gordolobo se tienen 4 especies diferentes, en distintos porcentajes, al realizar la determinación taxonómica la cual consistió en: el conteo de cabezuelas (foto 1-2), brácteas (foto 3), flores (foto 4-7) y caracterización de sexo (foto 4-7). La especie encontrada en mayor porcentaje fue *Gnaphalium semiamplexiacule* DC (57 %) y en menor porcentaje *G. oxyphyllum* DC (30 %), *G. conoideum* HBK (10 %); los cuales también pueden ser considerados como *Gnaphalium semiamplexiacule* DC, ya que según la FHEUM en su monografía 17, señala que puede ser incluida en esta especie otra del género que cumpla con las especificaciones de la misma. La otra especie encontrada en el estudio (*Gnaphalium bourgovii* Gray), no está reportada en la monografía 17, sin embargo cumple con las especificaciones de *Gnaphalium semiamplexiacule* DC. De acuerdo a la información encontrada en la literatura, esta especie es poco colectada, es probable que se trate de una variedad de *G. oxyphyllum* DC, con lo cual se encuentra la explicación al porcentaje encontrado en el estudio (3 %) y el que cumpla con las características exigidas para ser considerada

como *Gnaphalium semiamplexiacule* DC. Por otro lado el lugar donde ha sido encontrado con mayor frecuencia *Gnaphalium bourgovii* Gray es en el estado de Tlaxcala, y según comentarios de los comerciantes del mercado de Sonora (lugar donde se adquirió la planta), comentan que este es uno de los estados de donde proceden.

Para el caso de Árnica de acuerdo al conteo de flores liguladas, flores del disco y determinación de sexo (foto 8-11), sólo se encontró la especie mencionada en la monografía 5 de la FHEUM (*Heterotheca inuloides* Cass). Es importante mencionar que esta es la única especie hasta el momento encontrada en el país, según lo reportado en la bibliografía.

Se realizaron gráficas con diagramas de caja y bigote (Gráfica 1-22), para los resultados obtenidos de la concentración de metales en ambas especies estudiadas; y se les aplicó un Análisis de Varianza (Tabla 5), seguido de la prueba de Barlett, para lo cual dependiendo de la probabilidad obtenida se utilizó el método de Bonferroni o la Prueba de Kruskal-Wallis, para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre cada una de las especies estudiadas (Tabla 6).

Cabe resaltar que para ambas especies estudiadas, se observaron grandes diferencias en cuanto a las concentraciones de los elementos en las diferentes estructuras de la planta, ya que diversos factores afectan la disponibilidad y asimilación de los elementos tales como: concentración de oxígeno en la atmósfera del suelo, temperatura del suelo, reacciones antagónicas, pH del suelo, composición del suelo, época de recolección, por mencionar algunos de ellos.

En cobre se encuentran valores ligeramente altos en comparación con lo reportado en la literatura. En la Gráfica 23 así como en la Tabla 7, se observa que los valores más altos son para las estructuras hojas y flores de Árnica, ya que el valor del tallo se encuentra por debajo de lo reportado para naranja. El Gordolobo presenta valores más altos en tallo y hojas que lo concerniente para Acelga y Alfalfa, pero a su vez menores que naranja. En lo referente a lo encontrado en la bibliografía, se menciona que cuando los niveles de Cu exceden  $20 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en hojas maduras, se pueden presentar casos de toxicidad, y esto ocurre para el caso del valor reportado para

Árnica, ya que se tiene una concentración de  $38,2251 \mu\text{g/mL}^{-1}$ , pero cabe señalar que este valor es tóxico para las hojas de la planta y no así para el ser humano.

De acuerdo al Análisis de Varianza aplicado (Tabla 5 y 6) para este elemento se obtienen probabilidades de 0,804 para el Árnica y 0,174 con respecto al Gordolobo (después de aplicar la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni); con estos valores podemos decir que al ser mayores que el valor de  $\alpha$  aceptamos la hipótesis nula y por lo tanto las medianas son iguales.

La manera en la que este elemento está distribuido en las diferentes estructuras de la planta es muy variable, encontrando valores excesivos para el Árnica, lo cual puede explicarse de la siguiente manera: el cobre al igual que el zinc tienen como función primordial la activación de enzimas en el metabolismo general de la planta, siendo por lo tanto un nutrimento no estructural que puede translocarse de una lamina foliar a otra para cumplir su función. Por esta razón, estos elementos son moderadamente móviles y es la hoja la estructura donde se encuentran los niveles más altos. Por otro lado, la formación fuerte de complejos con la materia orgánica es un factor importante para explicar por qué las deficiencias de cobre no son frecuentes; la temperatura y la calidad e intensidad luminosa pueden influenciar el metabolismo del Cu en la planta.

Debido a que el requerimiento diario de cobre en un adulto es de aproximadamente 3,5 mg, de acuerdo a las concentraciones encontradas en ambas plantas (Árnica y Gordolobo) y en sus diferentes estructuras (tallo, hoja y flor) se puede decir que en cuanto a este elemento el consumo de dichas plantas no causa toxicidad para el ser humano y por el contrario puede contribuir al aporte que el organismo necesita. Ya que la deficiencia produce un descenso en la actividad de enzimas que lo contienen normalmente como cofactor, provocando: anemia, debilidad muscular, efectos neurológicos, posible hipotermia, anormalidades arteriales, alteraciones óseas y de la pigmentación.

Conforme a los parámetros de validación calculados para Cu, el sistema es lineal con  $\text{CV} = 0,0205 \%$ ,  $r = 0,9906$  y  $r^2 = 0,9812$ . El sistema es preciso con  $\text{CV} = 0 \%$ . El método es lineal con  $\text{CV} = 0,3566 \%$ . Es recobable con  $\text{CV} = 2,4810 \%$ . El método es



repetible y exacto con CV = 0,0550 %. Tiene un Límite de Detección de 0,0258  $\mu\text{g/mL}$  y un Límite de Cuantificación de 0,0782  $\mu\text{g/mL}$ .

Para lo referente a zinc de acuerdo a la Gráfica 24 y Tabla 7 la mayor cantidad de este elemento se encuentra en Gordolobo, exhibiendo ambas especies la mayor cantidad en hojas (Árnica 113,4137  $\mu\text{g/mL}^{-1}$  y Gordolobo 190,9000  $\mu\text{g/mL}^{-1}$ ), seguida de flores y por último tallo. El hecho de que en las hojas se tenga una mayor concentración de zinc que en otras partes de la planta, puede ser explicado por Mukherjee (1969), quien realizó un estudio de los micronutrientes en la caña de azúcar durante el crecimiento y la senescencia; en resumen, sus descubrimientos puntualizaron que el Cu, Zn y Mo se presentaban en sus concentraciones más altas en las hojas maduras. Como se observa entonces, las concentraciones de zinc en hojas son mayores para ambas especies, pero con todo esto se encuentran dentro del rango permisible ya que se establece que la concentración normal es de 25 a 150  $\mu\text{g/mL}^{-1}$ , observándose niveles de toxicidad cuando el contenido de la hoja excede las 400  $\mu\text{g/mL}^{-1}$ .

El Análisis de Varianza para zinc (Tabla 5 y 6) proporciona una probabilidad de 0,0001 en Árnica y 0,000 en Gordolobo. En Árnica se aplicó la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis, para lo cual se determina que debido a que la probabilidad es menor que  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna de que al menos una mediana es diferente. En lo referente a Gordolobo, debido a que se tiene una probabilidad menor que  $\alpha$  al hacer la prueba de Barlett y método Bonferroni se establece que se acepta la hipótesis alterna de que al menos una mediana es diferente y se rechaza la hipótesis nula.

La solubilidad de  $\text{Zn}^{2+}$  es altamente pH-dependiente y disminuye en 100 veces por cada unidad de incremento en el pH. Las deficiencias de Zn inducidas en suelos ácidos por una aplicación de cal, pueden explicarse fácilmente por esta relación de dependencia de pH. La forma en que es más absorbido el zinc es como  $\text{Zn}^{2+}$ , también puede ser absorbido en forma de complejos y quelatos orgánicos. Al igual que el cobre, el zinc tiene como función primordial la activación de enzimas en el

metabolismo general de la planta, así mismo este es un elemento no estructural y por lo tanto se puede mover dentro de ella.

El zinc tiene el papel de ser un componente de deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas, de tal forma que su deficiencia puede afectar el metabolismo en forma fuerte y específica.

Dado que el suministro de zinc para un adulto debe de ser alrededor de 22 mg al día, el consumo de ambas especies (Árnica y Gordolobo) por el ser humano es seguro, ya que no causa toxicidad y sin embargo estas son una fuente de abastecimiento, contribuyendo con ello a la inexistencia de enfermedades provocadas por la deficiencia de zinc y por citar algunas: una prolongada escasez de zinc lleva a un desarrollo físico y mental retardado en los adolescentes, espermatogénesis defectuosa, dermatitis, alopecia y deterioro en la mucosa intestinal.

Acorde con los resultados arrojados en los parámetros de validación para Zn, el sistema es lineal con CV = 0,0208 %,  $r = 0,9999$  y  $r^2 = 0,9801$ . El sistema es preciso con CV = 0,0011%. El método es lineal con CV = 0,4380 %. Es recobable con CV = 2,5333 %. El método es repetible y exacto con CV = 2,3333 %. Tiene un Límite de Detección de  $0,0083 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0278 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

En cuanto al hierro la Gráfica 25 y Tabla 7 muestran las concentraciones de este elemento, las cuales en tallo son: Árnica  $7,9969 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y Gordolobo  $1,9625 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ . En hojas  $39,9469 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  para Árnica y  $68,0007 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en Gordolobo y lo que respecta a Flores  $24,9475 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en Árnica y  $21,8255 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en Gordolobo. Tomando en cuenta las concentraciones aproximadas para hierro, la literatura señala que se presentan deficiencias cuando este elemento se encuentra por debajo de las 50 ppm, la concentración normal de 50-250 ppm y la concentración excesiva o tóxica no está reportada; por lo tanto todas las concentraciones expuestas exhiben deficiencias, excepto las hojas de Gordolobo.

Para la determinación de hierro en Árnica se realizó el Análisis de Varianza (Tabla 5 y 6) que tiene una probabilidad de 0,000 para Árnica, después de aplicar la prueba de Barlett seguida del método Bonferroni y al ser la probabilidad menor que  $\alpha$  se rechaza

la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alterna, lo cual nos indica que al menos una mediana es diferente. Para el Gordolobo no se logró elaborar el análisis estadístico por la gran variabilidad de los datos.

La explicación de la deficiencia de hierro, se basa en que Cu, Zn, Mn y Co se encuentran en concentraciones elevadas y causan interacción antagónica sobre el Fe, teniendo como consecuencia una muy baja cantidad de este elemento en la planta. Mn y Co se muestran en altas concentraciones en ambas especies, por lo tanto estos metales se pueden resaltar para explicar la deficiencia de hierro; ya que los cationes de hierro pueden ser más fácilmente sustituibles por los cationes de manganeso, a causa de que ambos tienen la posibilidad de ser utilizados en reacciones de oxido-reducción en diversas enzimas. El radio iónico y el número de coordinación, también son factores importantes que explican la sustitución de Fe a través de Mn y Co, pues tienen radios iónicos muy similares (Co 0,63 Å Mn 0,66 Å y Fe 0,64 Å) y número de coordinación 6. Asimismo Co, Mn y Fe son metales de transición y estos elementos deben su gran importancia en los sistemas vivos, principalmente a su capacidad para formar complejos con una variedad de grupos donadores que existen en los sistemas biológicos. Otra posible causa de la deficiencia de hierro es el hecho de que el  $\text{Fe}^{3+}$  es el ión que se acumula activamente en las plantas, y al tener un pH alcalino en el suelo, la actividad de  $\text{Fe}^{3+}$  en solución disminuye 1,000 veces por cada unidad de incremento del pH.

Como parte de la deficiencia de hierro en la planta se puede presentar clorosis. Las deficiencias de hierro pueden ser contrarrestadas con la adición al suelo de sulfato ferroso  $\text{FeSO}_4$ , sulfato férrico  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , oxido ferroso  $\text{FeO}$ , oxido férrico  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , fosfato ferroso amoniacal  $\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$ , estiércoles, por mencionar algunos.

La cantidad de hierro que se requiere por día en una persona adulta es de aproximadamente 57 mg, así que las cantidades contenidas en ambas plantas estudiadas no son tan relevantes como para poder abastecer la demanda. El hecho de consumir alimentos que carezcan de este elemento puede provocar alteraciones en la salud humana y algunas de ellas son: anemia.

Con los parámetros de validación realizados para hierro, se muestra que el sistema es lineal con  $CV = 0,0153 \%$ ,  $r = 0,9953$  y  $r^2 = 0,9906$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 1,8200 \%$ . Es recobable con  $CV = 2,9970 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 2,9799 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0054 \mu\text{g/mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0164 \mu\text{g/mL}^{-1}$ .

Para el caso del níquel, la Gráfica 26 y Tabla 7 indican que para el Árnica sólo en hojas se encontró este elemento con una concentración de  $9,9356 \mu\text{g/mL}^{-1}$  y en Gordolobo  $8,9342 \mu\text{g/mL}^{-1}$  para tallo,  $12,6758 \mu\text{g/mL}^{-1}$  en hojas y  $2,5390 \mu\text{g/mL}^{-1}$  en flores. Para ambas especies la concentración encontrada de níquel está dentro de los límites establecidos en la literatura, los cuales son de  $0,1-100 \mu\text{g/mL}^{-1}$ .

Con el Análisis de Varianza realizado para níquel (Tabla 5 y 6), en Árnica no se muestra ningún dato de probabilidad, porque sólo se hallaron valores en hojas y es imposible llevar a cabo el análisis estadístico sólo con una parte de la planta. En cuanto al Gordolobo al tener una probabilidad de  $0,0042$  y siendo menor que  $\alpha$  se aceptó la Hipótesis alterna, la cual indica que al menos una mediana es diferente.

Al no ser el níquel un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, y debido a que no se encuentra en cantidades tóxicas en las mismas, las personas que consumen Gordolobo y Árnica lo pueden hacer con seguridad, ya que podría ser considerado como un aporte de la cantidad requerida en la dieta, debido a que toleran hasta  $100 \text{ mg}$  de este elemento. Una función importante del níquel en el ser humano es facilitar la absorción del ión férrico.

Tomando en cuenta los parámetros de validación de níquel, el sistema es lineal con  $CV = 0 \%$ ,  $r = 0,9999$  y  $r^2 = 0,9999$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 0 \%$ . Es recobable con  $CV = 0 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 0 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0042 \mu\text{g/mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0142 \mu\text{g/mL}^{-1}$ .

En lo concerniente a cobalto, la Gráfica 27 y Tabla 7 exhiben valores por encima de  $1 \mu\text{g/mL}$  con lo cual este elemento causa toxicidad para Árnica y Gordolobo, ya que los valores considerados como normales van de  $0,1 \mu\text{g/mL}^{-1}$  a  $1 \mu\text{g/mL}^{-1}$ .

El Análisis de Varianza efectuado para cobalto (Tabla 5 y 6), arroja probabilidades de 0,685 para Árnica y 0,537 para Gordolobo, al llevar a cabo la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni y al tener probabilidades mayores que  $\alpha$  se aceptó la Hipótesis nula, con lo cual se indica que las medianas son iguales.

La toxicidad de cobalto en la planta es ocasionada por la deficiencia de hierro, ya que este es un antagonista de cobalto, y al presentarse en concentraciones deficientes no se produce ningún efecto antagónico, ocasionando con ello que se disparen las concentraciones de cobalto. Dado que el Fe y el Co tienen propiedades muy similares como: radios iónicos (Fe 0,64 Å y Co 0,63 Å), número de coordinación 6 para ambos elementos, el ser parte de los elementos de transición y números de Oxidación 2 y 3; cuando alguno de estos dos elementos está en forma deficiente puede sustituirse por el otro elemento y de esta manera se logra dar una justificación a la alta concentración de cobalto encontrada. Otro punto importante es que, aunque el níquel está dentro de los parámetros requeridos, en algunas estructuras de la planta está ausente, esto es porqué el cobalto también puede suplir al níquel debido a que compiten entre ellos por la captación en las diferentes estructuras de la planta, ya que tienen características químicas análogas.

La cantidad excesiva de cobalto aumenta la cantidad de hojas cloróticas, que luego se tornan necróticas y terminan marchitándose. Los síntomas del exceso de cobalto pueden ser aliviados por la adición de sales de hierro.

El cobalto es beneficioso para seres humanos porque forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>, que es esencial para mantener una buena salud. El cobalto también ha sido usado como tratamiento para la anemia (reducción significativa del número de glóbulos rojos en la sangre), incluso en mujeres embarazadas, debido a que estimula la producción de glóbulos rojos. El cobalto también estimula la producción de glóbulos rojos en gente sana, aunque solamente a niveles de exposición muy altos.

Aunque en Gordolobo y Árnica la cantidad de cobalto es tóxica, para el ser humano no representa problema alguno en su integridad, pues se encuentra por debajo de las cantidades requeridas en la dieta de las personas (1,5 mg), y por el contrario ayuda a satisfacer los requerimientos diarios de este elemento.

Al realizarse los parámetros de validación para cobalto, se aprecia que: el sistema es lineal con  $CV = 0 \%$ ,  $r = 0,9999$  y  $r^2 = 0,9999$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 0,6899 \%$ . Es recobable con  $CV = 2,5340 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 2,9780 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0033 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0101 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

En lo referente a cromo, la Gráfica 28 y Tabla 7 exponen concentraciones de  $4,8 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en Árnica y  $8,2 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en Gordolobo. Tomando en cuenta lo reportado en la literatura, las dos especies quedan por debajo de lo reglamentario ( $10-150 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ ). Para lo concerniente a las hojas de Gordolobo, el valor de  $5,1644 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  es ligeramente tóxico, porque este debe encontrarse entre  $0,1$  y  $5 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

Al efectuar el Análisis de Varianza para cromo (Tabla 5 y 6) se obtienen probabilidades para Árnica y Gordolobo de  $0,0001$ ; después de aplicar la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis, y al tener probabilidades menores al valor de  $\alpha$  se acepta la hipótesis alterna, la cual menciona que al menos una mediana es diferente.

La deficiencia de cromo en ambas especies puede ser justificada por la interacción antagónica que causan sobre este el manganeso y el cobre. El razonamiento de esta interacción se debe a que los 3 elementos tienen radios iónicos similares (cromo  $0,69 \text{ \AA}$  cobre  $0,69 \text{ \AA}$  y manganeso  $0,66 \text{ \AA}$ ), poseen número de coordinación 6, pueden llevar a cabo reacciones de oxidación-reducción y son metales de transición. Por otro lado, el exceso de la cantidad de cromo encontrada en las hojas de Gordolobo causa clorosis en hojas nuevas. El Cr (VI) es más fitotóxico que el Cr (III). La forma predominante del cromo es posible que sea Cr (III) por que es la única que tiene actividad biológica, ya que en la materia viva no se produce oxidación de Cr (III) a Cr (VI). El Cr (VI) es reducido a Cr (III) entre las superficies de las raíces, independientemente de la forma en la que se aplique es retenido.

A pesar de que en Gordolobo se encontró toxicidad de cromo en las hojas, no es una amenaza para los consumidores de esta planta, pues la cantidad total en la planta es de  $8,2 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y la demanda diaria es de  $150 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ . En caso contrario es de gran importancia su consumo, ya que el cromo participa en el proceso de fijación de la

insulina a las membranas celulares, mediante la formación de un puente entre la molécula de insulina y la membrana, por lo que su deficiencia se caracteriza por trastornos de tolerancia a la glucosa.

Los parámetros de validación para cromo manifiestan que el sistema es lineal con  $CV = 0,0151\%$ ,  $r = 0,9934$  y  $r^2 = 0,9868$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 0 \%$ . Es recobable con  $CV = 0 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 0 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0014 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0048 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

En manganeso se encuentran valores tóxicos para todos los tejidos de ambas especies. En la Gráfica 29 así como en la Tabla 7 se observa que los valores más altos son para hojas. Tanto Árnica como Gordolobo presentan valores más altos en todas sus estructuras que lo concerniente a espinaca, naranja y otras especies. En lo referente a lo reportado en la bibliografía, se menciona que cuando los niveles de Mn exceden los  $500 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en cualquiera de los tejidos de la planta se pueden presentar casos de toxicidad, y en este caso es lo que ocurre, ya que se sobrepasan los  $500 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  en cada uno de los tejidos de cada planta.

De acuerdo al Análisis de Varianza realizado (Tabla 5 y 6) para este elemento; se obtienen probabilidades de 0,346 para el Árnica, después de hacer la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni y 0,0001 con respecto al Gordolobo, posteriormente al aplicar la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis. Con estos valores para el caso del Árnica se puede decir que al ser mayor la probabilidad que el valor de  $\alpha$  aceptamos la hipótesis nula y por lo tanto las medianas son iguales. Para Gordolobo al tener una probabilidad menor al valor de  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna lo cual revela que al menos una mediana es diferente.

El hecho de que el manganeso se encuentre en forma excesiva, esta relacionado con la deficiencia reportada para hierro y cromo. Debido a que el manganeso es el elemento que puede sustituir más fácilmente al hierro, por la enorme semejanza química que tienen. Las relaciones químicas existentes son: Mn y Fe tienen la posibilidad de ser utilizados en reacciones de oxido-reducción en diversas enzimas,

tienen radios iónicos similares (Mn 0,66 Å Cr 0,66 Å y Fe 0,64 Å); son metales de transición y Número de coordinación 6. Por otro lado, hay interacciones antagónicas con Zn, Cr, Fe, Co y Ni, destacando las que ocurren con Cr y Ni porque son ligeramente bajas; propiciando con ello, que al tener una mínima concentración de los antagonistas se incremente la cantidad de manganeso. Resulta lógico que la concentración más elevada de manganeso este en las hojas de Árnica y Gordolobo, pues hay evidencia que la reacción de Hill requiere Mn para que se lleve a cabo dicha reacción.

Debido a que el requerimiento diario de manganeso en un adulto es de aproximadamente 3,5 mg, de acuerdo a las concentraciones encontradas en ambas plantas (Árnica 5,12 mg y Gordolobo 7,16 mg) y en sus diferentes estructuras (tallo, hoja y flor) se puede decir con respecto a este elemento, que el consumo de estas plantas debe ser vigilado, ya que sobrepasa la cantidad de demanda diaria, por lo que podría causar toxicidad en el ser humano. La toxicidad de Mn provoca esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza, insomnio alucinaciones, olvidos, daños en los nervios y en casos extremos el manganeso puede causar parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis.

Conforme a los parámetros de validación calculados para Mn, el sistema es lineal con CV = 0,0212 %,  $r = 0,9978$  y  $r^2 = 0,9956$ . El sistema es preciso con CV = 0 %. El método es lineal con CV = 2,1233 %. Es recobable con CV = 2,8240 %. El método es repetible y exacto con CV = 2,6266 %. Tiene un Límite de Detección de 0,0104  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de 0,0315  $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

Para lo referente a calcio de acuerdo a la Gráfica 30 y Tabla 7 la mayor cantidad de este elemento se encuentra en Gordolobo (4,55 %), a diferencia de Árnica (3,91%) y comparando con Acelga, Alfalfa, Avena y Alubia, ambas especies exhiben las mayores cantidades en hojas (Árnica 2,0168 % y Gordolobo 2,4979 %), siendo similares en flores y tallo. El hecho de haber tenido una mayor cantidad de calcio en hojas, se le puede atribuir la siguiente explicación: el calcio es considerado un elemento floema-inmóvil por lo tanto, no se puede exportar desde las hojas a otras estructuras de la planta como lo pueden hacer los elementos floema-móviles; al ser el calcio un elemento inmóvil en el floema, se va acumulando en la hoja de la planta.



Como observamos la cantidad total de calcio en Árnica y Gordolobo se encuentra dentro del rango permisible, el cual es de 3,0 a 5,5 %. Un factor que se piensa contribuyó con el abastecimiento y aprovechamiento de calcio fue el encalamiento del suelo.

El Análisis de Varianza para calcio (Tabla 5 y 6) proporciona una probabilidad de 0,0001 en Árnica y 0,002 en Gordolobo. En Árnica se aplicó la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis, para lo cual se determina que debido a que la probabilidad es menor que  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna de que al menos una mediana es diferente. En lo referente a Gordolobo, debido a que se tiene una probabilidad menor que  $\alpha$  al hacer la prueba de Barlett y método Bonferroni se establece que se acepta la hipótesis alterna de que al menos una mediana es diferente y se rechaza la hipótesis nula.

La concentración de calcio en Árnica y Gordolobo hace que influya en el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales. Asimismo, actúa como cofactor enzimático de un buen número de reacciones y es imprescindible para la conservación de la estructura y la función de todas las membranas celulares. También compensa la acción de otros cationes e incluso en altas concentraciones puede reducir la absorción de Mg y K, aunque en bajas concentraciones puede haber sinergismo con K. Su actividad como mensajero secundario en la señalización celular, es esencial para mantener la permeabilidad de las membranas celulares y también para la estructura de la pared celular.

El consumo de ambas especies (Árnica y Gordolobo) por el ser humano es seguro ya que no causa toxicidad, si tomamos en cuenta que el consumo promedio de calcio es de 1000 mg al día, estas plantas sólo resultan ser una fuente de abastecimiento, contribuyendo con ello a la inexistencia de enfermedades provocadas por la insuficiencia de calcio y por enumerar algunas: Osteoporosis, raquitismo y osteomalacia. Así mismo, el calcio, participa en la contracción muscular (incluyendo el mantenimiento de un ritmo cardiaco regular), la coagulación de la sangre y la actividad de varias enzimas importantes.

De acorde con los resultados arrojados en los parámetros de validación para Ca, el sistema es lineal con  $CV = 0,9800 \%$ ,  $r = 0,9924$  y  $r^2 = 0,9848$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 2,9350 \%$ . Es recobable con  $CV = 2,7450 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 2,4583 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0051 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0171 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

En cuanto al magnesio la Gráfica 31 y Tabla 7 muestran las concentraciones de este elemento, las cuales en tallo son: Árnica  $0,1382 \%$  y Gordolobo  $0,3042 \%$ . En hojas  $0,2466 \%$  para Árnica y  $0,6816 \%$  en Gordolobo y lo que respecta a Flores  $0,1999 \%$  en Árnica y  $0,4557 \%$  en Gordolobo. El promedio de la cantidad de Mg en toda la planta es de  $0,56 \%$  en Árnica y  $1,43 \%$  en Gordolobo. Tomando en cuenta las concentraciones teóricas que son aproximadas para magnesio ( $0,5-2 \%$  en toda la planta y  $0,1-0,75 \%$  en hojas); las obtenidas para Árnica y Gordolobo son las adecuadas, ya que entran dentro del intervalo teórico de este elemento, encontrando la mayor cantidad en hoja.

El Análisis de Varianza realizado para magnesio (Tabla 5 y 6) arroja una probabilidad de  $0,346$  para Árnica y  $0,0001$  en Gordolobo. Se aplicó la prueba de Barlett seguida del método Bonferroni en el caso del Árnica y al ser la probabilidad mayor que  $\alpha$  se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alterna, lo cual nos indica que todas las medianas son iguales. Para el Gordolobo se aplicó la prueba de Barlett, seguida del método de Kruskal-Wallis y se obtuvo una probabilidad menor que el valor de  $\alpha$ , por lo que se acepta la Hipótesis alterna.

La explicación al suceso de haber encontrado una mayor cantidad de magnesio en las hojas, se basa en que este elemento presenta alta movilidad dentro de la planta y es translocado de las partes viejas a las partes fisiológicamente más activas, como las hojas. Resulta interesante observar que las cantidades de magnesio obtenidas sean las adecuadas y elementos como Mn y Co, que se encuentran en altas concentraciones y que de alguna manera tienen interacción antagonista no afecten la cantidad de Mg requerida por la planta. Así mismo, el hecho de encontrar calcio y potasio en niveles de concentración apropiados, permite que las concentraciones de Mg también sean las demandadas, esto es explicado como parte de un equilibrio que

existe entre estos 3 elementos, ya que son tradicionalmente considerados en conjunto, debido al efecto de uno de ellos sobre el tenor de los otros dos iones. Al tener deficiencia de magnesio en el suelo, esta puede ser remplazada por los cationes Ca y K, debido a la Capacidad de Intercambio de Cationes que presentan, esto se fundamenta en que Ca y Mg tienen la misma carga, aunque el calcio puede ser más fácilmente remplazable por el Mg, dado que la remplazabilidad aumenta cuando el peso atómico se incrementa en iones con la misma carga, siempre tomando en cuenta que si se tiene un ión que se hidrata fácilmente, el remplazamiento puede cambiar. Como ya se ha mencionado, se especula que los suelos en donde fueron sembradas las plantas estudiadas, poseen una alcalinidad suficiente como para mantener el requerimiento de magnesio, ya que la disponibilidad y la captación de Mg se hubiese visto afectada en suelos ácidos.

La función más prominente del magnesio en la planta es su papel como el átomo central de la molécula de clorofila, participa en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO<sub>2</sub>, es responsable de la regulación de pH y del fenómeno de turgencia por parte de las células de la planta, está ligado al pectato y allí sirve como elemento estructural de la pared celular.

La cantidad de magnesio que se requiere por día en una persona adulta es aproximadamente de 19-41 mg, así que la cantidad contenida en ambas plantas estudiadas (Árnica 1,94 mg y Gordolobo 5,55 mg), no es delicada para los consumidores, pero si contribuye a abastecer la demanda de este elemento. En el ser humano el magnesio participa dentro de la célula en la estabilización de los ácidos nucleicos, unido al ATP, es cofactor de más de 300 enzimas y participa en la excitabilidad muscular. La deficiencia de Mg puede ser provocada por patologías como: anomalías en el tracto gastrointestinal, difusión tubular renal y alteraciones endocrinas.

Con los parámetros de validación realizados para magnesio, se muestra que el sistema es lineal con CV = 0,9556 %,  $r = 0,9999$  y  $r^2 = 0,9801$ . El sistema es preciso con CV = 0 %. El método es lineal con CV = 2,8780 %. Es recobable con CV = 1,3400 %. El método es repetible y exacto con CV = 0,8666 %. Tiene un Límite de Detección de  $0,0042 \mu\text{g/mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0129 \mu\text{g/mL}^{-1}$ .

Para el caso de sodio, la Gráfica 32 y Tabla 7 indican que para las dos especies estudiadas, los porcentajes promedio encontrados en toda la planta (Árnica 0,94 % y Gordolobo 1,2 %) se encuentran dentro de los límites establecidos en la literatura, los cuales son de 0,05–5 %. En las dos plantas, la mayor cantidad de Na fue en hojas (Árnica 0,3625 % y Gordolobo 0,4167 %), aunque dentro del límite establecido para este tejido (0,25–0,8 %).

Con respecto al Análisis de Varianza realizado para sodio (tabla 5 y 6), en ambas especies se aplicó la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni. En Árnica se obtuvo una probabilidad de 0,936 por lo que se aceptó la Hipótesis nula, con la que se revela que las medianas son iguales y en cuanto al Gordolobo al tener una probabilidad de 0,005 y siendo menor que  $\alpha$  se aceptó la Hipótesis alterna, la cual indica que al menos una mediana es diferente.

Es lógico que los porcentajes de sodio en Árnica y Gordolobo estén muy por debajo de lo reportado para Acelga, puesto que no es un elemento esencial para las plantas y es absorbido en cantidades muy diferentes según las especies. El episodio de haber tenido una mayor cantidad de sodio en hojas, es dilucidado a causa de que no es un elemento estructural, es un elemento móvil y por ello las cantidades presentes serán mayores en aquellos órganos de la planta dedicados a la absorción y almacenamiento de agua, por lo que se encuentran en raíz y hoja los niveles más altos. Debido a la movilidad que tiene este elemento en la planta, los valores son relativamente homogéneos en todas las estructuras. Una respuesta a la concentración adecuada de sodio se basa en la no deficiencia de potasio, por la amplia relación entre los dos cationes; ya que uno y otro compiten por los canales en las raíces de la planta y porque el sodio puede sustituir al potasio, en algunas funciones fisiológicas, especialmente en la conservación de la turgencia celular. La sustitución en el suelo de K por Na puede ser efectuada por la capacidad de intercambio catiónico que presentan, siendo mas remplazable el potasio que el sodio.

Ya que el sodio es un nutriente no esencial para las plantas, y dado que las concentraciones no son tóxicas para las mismas, los individuos que recurren a Gordolobo y Árnica lo pueden hacer con seguridad, debido a que toleran hasta 3 g de

este elemento y las cantidades encontradas en las plantas son alrededor de 10 mg, por ello podrían ser consideradas como un aporte de la cantidad requerida en la dieta.

Las funciones importantes del sodio en el ser humano son: mantener el pH de la sangre y del equilibrio ácido-base, participar en la regulación de la presión arterial y en la función muscular.

Tomando en cuenta los parámetros de validación de sodio, el sistema es lineal con  $CV = 1,4200 \%$ ,  $r = 0,9925$  y  $r^2 = 0,9850$ . El sistema es preciso con  $CV = 0 \%$ . El método es lineal con  $CV = 2,956 \%$ . Es recobable con  $CV = 2,7499 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 2,2720 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0045 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0137 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

En la Gráfica 33, así como en la Tabla 7, se denota que los valores de potasio en toda la planta son para Árnica  $9,413 \%$  y Gordolobo  $12,468 \%$ . De acuerdo a lo citado en la bibliografía, la concentración adecuada de K es de  $0,2-10 \%$  y en este caso lo que ocurre es que Gordolobo sobrepasa el rango establecido. En hojas se presentó la mayor cantidad de potasio (Árnica  $3,5315 \%$  y Gordolobo  $4,6760 \%$ ), y el parámetro en lo pertinente a este órgano ( $0,15-2 \%$ ) fue superado.

De acuerdo al Análisis de Varianza aplicado (Tabla 5 y 6) para este elemento, se obtienen probabilidades de  $0,0003$  para el Árnica, después de aplicar la prueba de Barlett seguida del método de Kruskal-Wallis y  $0,249$  con respecto al Gordolobo, posteriormente, al aplicar la prueba de Barlett seguida del método de Bonferroni. Con estos valores para el caso del Árnica se puede decir que al ser menor la probabilidad que el valor de  $\alpha$  aceptamos la hipótesis alterna y por lo tanto, al menos una mediana es diferente. Para Gordolobo al tener una probabilidad mayor al valor de  $\alpha$  se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, con lo cual, se puede decir que todas las medianas son iguales.

Un factor a discutir es la alta cantidad de potasio en las plantas. Una explicación a ello se basa en el fenómeno de fijación con firmeza, que presenta este elemento en el suelo por el radio iónico de  $1,33 \text{ \AA}$  que posee, recordando que este fenómeno ocurre en los iones con radios entre  $1,3$  y  $1,5 \text{ \AA}$ . Por otro lado en los suelos del país existe

un elevado contenido de potasio, a consecuencia de que los minerales primarios que contienen potasio son los feldspatos potásicos con origen principalmente volcánico, y cuando hay alta disponibilidad de este elemento en el suelo las plantas llevan a cabo el fenómeno conocido como “consumo de lujo”, por lo que pueden absorber este elemento sin establecer límite en su metabolismo. Otra dilucidación acerca del total de potasio encontrado, es que al ser adecuada la concentración de calcio y magnesio la concentración de potasio también lo es, la razón es que K puede sustituir la deficiencia de Ca y Mg; ya que existen efectos competitivos relacionados, siendo el potasio en esta competencia el que se absorbe más rápidamente; de esta forma, si existiera ausencia de potasio se provocaría un aumento en la absorción de otros cationes, debido a la falta de competición en el proceso de absorción.

El suceso de haber encontrado una mayor cantidad de potasio en las hojas de ambas especies, es debido a que la concentración de este elemento está determinada por el metabolismo que cada órgano de la planta realiza y como la hoja es una parte fisiológicamente muy activa, es razonable encontrar la mayor cantidad de este elemento en esta estructura.

Los beneficios que aporta el potasio a las plantas son vitales, actúa como un cofactor o activador de muchas enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Una de las más importantes la piruvato-quinasa, la cual es una enzima principal de la glucólisis y respiración. Los iones K son también importantes en la fijación del  $\square$ hoq a los ribosomas y la regulación del potencial osmótico.

La cantidad de potasio que se requiere por día en una persona adulta es de aproximadamente 2-3 g, así que la cantidad contenida en ambas plantas estudiadas (Árnica 94,13 mg y Gordolobo 124,68 mg) contribuye al aporte de la cantidad demandada por la dieta diaria. El consumo de este elemento en la dieta, regula el contenido en agua de las células y su movimiento, impidiendo la fuga. También mantiene el equilibrio ácido-base y junto con el sodio, el potasio regulariza la cantidad y el reparto normal del agua en el organismo. Asimismo, interviene en la construcción de las proteínas e incrementa la excitabilidad neuromuscular. En equilibrio con el calcio y el magnesio, el potasio contribuye a la regularización de todas las funciones celulares y en especial a la excitabilidad del corazón, del sistema nervioso y de los

músculos. Por otro lado es indispensable para el movimiento del miocardio y activa los sistemas enzimáticos.

Al llevarse a cabo los parámetros de validación para potasio, se aprecia que: el sistema no es lineal con  $CV = 3,2700 \%$ ,  $r = 0,6548$  y  $r^2 = 0,4287$ . El sistema es preciso con  $CV = 0,0652 \%$ . El método no es lineal con  $CV = 4,2677 \%$ . No es recobable con  $CV = 41,9799 \%$ . El método es repetible y exacto con  $CV = 7,4170 \%$ . Tiene un Límite de Detección de  $0,0059 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$  y un Límite de Cuantificación de  $0,0179 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ .

## 9. CONCLUSIONES

- 1) Se cuantificó a los elementos metálicos: cobre, zinc, fierro, níquel, cobalto, cromo, manganeso, calcio, magnesio, sodio y potasio; presentes en Gordolobo Mexicano (*Gnaphalium semiamplexiacule* DC) y Árnica Mexicana (*Heterotheca inuloides* Cass), aplicando una técnica de análisis instrumental a través de un método analítico exacto y preciso.
- 2) Se identificaron 4 especies diferentes de *Gnaphalium* en Gordolobo Mexicano (*Gnaphalium semiamplexicaule* DC; *Gnaphalium oxyphyllum* DC; *Gnaphalium conoideum* HBK y *Gnaphalium bourgovii* Gray) y una en Árnica (*Heterotheca inuloides* Cass)
- 3) El cobre presenta cantidades tóxicas en hojas de Árnica.
- 4) Zinc, níquel, calcio, magnesio, sodio y potasio mostraron concentraciones normales para Árnica y Gordolobo.
- 5) Para hierro las dos especies presentan deficiencias.
- 6) El cromo presentó niveles ligeramente bajos en ambas especies.
- 7) El cobalto y manganeso presentaron toxicidad en ambas especies. Se propone monitorear el consumo de las plantas en cuanto a manganeso.
- 8) Todos los elementos presentan cantidades seguras y confiables para el ser humano; excepto manganeso debido a la elevada concentración.
- 9) El análisis estadístico aplicado pone de manifiesto las diferencias significativas para algunos elementos de las plantas estudiadas.



## 10. RECOMENDACIONES

Se propone realizar un estudio en el cual se incluya analizar las raíces de Gordolobo así como de Árnica y de ser posible que sean recolectadas por individuos que tengan los conocimientos para realizar dicha acción; con lo cual se logrará coleccionar muestras que sean homogéneas, en cuanto al lugar de procedencia de dichas especies y así se podrá visualizar mejor la distribución de los elementos en la planta. También será posible establecer una mejor relación suelo – planta – animal.

Se exhorta a determinar las concentraciones de aluminio ya que así se podrá tener un panorama más amplio del estudio, debido a que las concentraciones de Al están relacionadas con las de Ca y Mg se espera que las plantas presenten un bajo contenido de aluminio, la razón de ello es que Ca y Mg están en cantidades adecuadas, pues de otra manera si las cantidades de Al fueran tóxicas las de Ca y Mg serían deficientes.

Se recomienda que se realicen estudios visuales en las hojas de las plantas antes de sean cosechadas; para poder observar los daños que a simple vista fueran detectables a consecuencia de las deficiencias y excesos de algunos elementos.

## 11. ANEXO 1

FOTOS DE GORDOLOBO MEXICANO (MACROSCÓPICAMENTE).



FOTO 12. Gordolobo Mexicano.



FOTO 13. Gordolobo Mexicano.



FOTO 14. Gordolobo Mexicano.



FOTO 15. Gordolobo Mexicano.

FOTOS DE ÁRNICA MEXICANA (MACROSCÓPICAMENTE).



FOTO 16. Árnica Mexicana.



FOTO 17. Árnica Mexicana.



FOTO 18. Árnica Mexicana.



FOTO 19. Árnica Mexicana.

## 12. ANEXO 2

**FÓRMULAS UTILIZADAS EN LOS PARÁMETROS DE VALIDACIÓN  
CALCULADOS.**

**LINEALIDAD DEL SISTEMA.**

Tabulación de los datos para la linealidad del sistema.

CONCENTRACIÓN (X)	PROPIEDAD MEDIDA (Y)
$x_1$	$Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}$
$x_2$	$Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n}$
$x_3$	$Y_{31}, Y_{32}, \dots, Y_{3n}$
.	. . .
.	. . .
$x_t$	$Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tn}$

t= número de diluciones

n=número de repeticiones (propiedad medida) de cada dilución

✦ CÁLCULOS PRELIMINARES

$$\sum X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_t$$

$$\sum Y = Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n} + Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n} + \dots + Y_{t1} + Y_{t2} + \dots + Y_{tn}$$

$$\sum X^2 = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_t^2$$

$$\sum Y^2 = Y_{11}^2 + Y_{12}^2 + \dots + Y_{1n}^2 + Y_{21}^2 + Y_{22}^2 + \dots + Y_{2n}^2 + \dots + Y_{t1}^2 + Y_{t2}^2 + \dots + Y_{tn}^2$$

$$\sum XY = X_1(Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n}) + X_2(Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n}) + \dots + X_t(Y_{t1} + Y_{t2} + \dots + Y_{tn})$$

✦ PENDIENTE

$$m = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

✧ ORDENADA AL ORIGEN:

$$b = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

✧ COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

$$r^2 = \frac{\{(n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y))\}^2}{\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\}\{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2\}}$$

✧ CÁLCULOS PRELIMINARES

$$F_{11} = \frac{y_{11}}{x_1} \quad F_{11} = \frac{y_{11}}{x_1} \quad F_{11} = \frac{y_{11}}{x_1}$$

$$F_{t1} = \frac{y_{t1}}{x_t} \quad F_{t2} = \frac{y_{t2}}{x_t} \quad F_m = \frac{y_m}{x_m}$$

$$\sum F = F_{11} + F_{12} + F_{1n} + \dots + F_{t1} + F_{t2} + F_m$$

$$\sum F^2 = F_{11}^2 + F_{12}^2 + F_{1n}^2 + \dots + F_{t1}^2 + F_{t2}^2 + F_m^2$$

$$\bar{F} = \frac{\sum F}{N}$$

Donde:

N es el número de puntos de la linealidad del sistema

✧ DESVIACIÓN ESTANDAR

$$DE = \left\{ \frac{N(\sum F^2) - (\sum F)^2}{N(N-1)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

✧ COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$CV = \frac{DE}{\bar{F}} \times 100$$

**PRECISIÓN DEL SISTEMA**

## ✪ CÁLCULOS PRELIMINARES

$$\sum Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n$$

$$\sum Y^2 = Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_n^2$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

## ✪ DESVIACIÓN ESTANDAR

$$DE = \left\{ \frac{N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}{N(N-1)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

## ✪ COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$CV = \frac{DE}{\bar{Y}} \times 100$$

**LINEALIDAD DEL MÉTODO**

Tabulación de los datos para la linealidad del método.

<b>CANTIDAD ADICIONADA (X)</b>	<b>CANTIDAD RECUPERADA (Y)</b>
$X_1$	$Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}$
$X_2$	$Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n}$
$X_3$	$Y_{31}, Y_{32}, \dots, Y_{3n}$
.	. . . . .
.	. . . . .
$X_t$	$Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tn}$

t = Número de cantidades adicionadas

n = número de repeticiones (cantidad recuperada)

### ✦ CALCULOS PRELIMINARES

$$\sum X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_t$$

$$\sum Y = Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n} + Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n} + \dots + Y_{t1} + Y_{t2} + \dots + Y_{tm}$$

$$\sum X^2 = X^2_1 + X^2_2 + X^2_3 + \dots + X^2_t$$

$$\sum Y^2 = Y^2_{11} + Y^2_{12} + \dots + Y^2_{1n} + Y^2_{21} + Y^2_{22} + \dots + Y^2_{2n} + \dots + Y^2_{t1} + Y^2_{t2} + \dots + Y^2_{tm}$$

$$\sum XY = X_1(Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n}) + X_2(Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n}) + \dots + X_t(Y_{t1} + Y_{t2} + \dots + Y_{tm})$$

### ✦ PENDIENTE

$$m = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

### ✦ ORDENADA AL ORIGEN

$$b = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} = \frac{(\sum Y) - m(\sum X)}{n}$$

### ✦ COEFICIENTE DE DETERMINACION

$$r^2 = \frac{\{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)\}^2}{\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\} \{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2\}}$$

### ✦ PORCIENTO DE RECOBRO ®

$$R = \frac{Y}{X} \times 100$$

### ✦ CALCULOS PRELIMINARES

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$\sum R^2 = R^2_1 + R^2_2 + R^2_3 + \dots + R^2_n$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{N}$$

☛ DESVIACIÓN ESTANDAR

$$DE = \left\{ \frac{N(\sum R^2) - (\sum R)^2}{N(N-1)} \right\} \frac{1}{2}$$

☛ COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$CV = \frac{DE}{\bar{R}} \times 100$$

☛ Finalmente se determinan los valores de t de student, para evaluar la ordenada al origen y la pendiente estadísticamente

$$McErr\ Reg = \frac{\sum Y^2 - m(\sum XY) - b(\sum y)}{n-2}$$

$$Mc\ Reg = b(\sum Y) + m(\sum XY) - \left\{ \frac{\sum Y^2}{n} \right\}$$

$$Sm = \left\{ McErr\ Reg \left( \frac{Xp^2}{n(\sum X^2)} + \frac{1}{n} \right) \right\} \frac{1}{2}$$

$$Sb = \left\{ Mc\ Reg \left( \frac{1}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \right) \right\} \frac{1}{2}$$

Donde:

McErrReg = Media Cuadrática de Error de Regresión

McReg = Media Cuadrática de Regresión

Sm = desviación Estándar para la pendiente

Sb = desviación Estándar para la ordenada al origen

x<sub>p</sub> = Promedio de x

n = número de datos

$$t_{calcm} = \frac{1-m}{Sm}$$



$$t_{calcb} = \frac{o-b}{Sb}$$

✪ La “t” de tablas se determina con n-1 grados de libertad y un nivel de significancia de 0.95.

## PORCIENTO DE RECOBRO EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DEL MÉTODO

✪ PORCIENTO DE RECOBRO ®

$$R = \frac{Y}{X} \times 100$$

✪ CÁLCULOS PRELIMINARES

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$\sum R^2 = R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_n^2$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{N}$$

✪ DESVIACIÓN ESTANDAR

$$DE = \left\{ \frac{N(\sum R^2) - (\sum R)^2}{N(N-1)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

✪ COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$CV = \frac{DE}{\bar{R}} \times 100$$

✪ CONTRASTE DE HIPÓTESIS PARA EXACTITUD

$$H_0 = m=0$$

$$H_0 = m \neq 0$$

✪ “t” DE STUDENT

$$t_{calc} = \frac{\bar{R} - 100}{\frac{DE}{\sqrt{n}}}$$

### ✪ INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA

$$IC = \bar{R} \pm t(gl, n - 2, 0.95) \frac{DE}{\sqrt{n}}$$

Donde:

n = Número de recobros independientes

x = Cantidad adicionada

y = Cantidad recuperada

### LÍMITE DE DETECCIÓN Y DE CUANTIFICACIÓN.

#### ✪ DESVIACIÓN ESTANDAR

$$s = \left\{ \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \right\}^{1/2}$$

Donde:

s = Desviación estándar

x = Cada una de las lecturas individuales

$\bar{x}$  = Promedio de las lecturas

n = número de las lecturas

$$LD = \frac{3sc}{x} \qquad LD = \frac{10sc}{x}$$

Donde:

s = Desviación estándar

c = Concentración

LD = Límite de detección

LQ = Límite de cuantificación

### 13. BIBLIOGRAFÍA

Alloway, B. 1990. Heavy metals in soil. U. S. A: John Wiley and sons Inc.

Aragón y Leyva A. 1945. Libellus de medicinalibus indorum herbis Herbario azteca de 1552, escrito en latín por el indio xochimilca Juan Badiano según el texto en náhuatl de Martín de la Cruz. México.

Barceló J, Poschenrieder Ch. 1989. Estrés vegetal inducido por metales pesados. Investigación y ciencia **154**: 54-63.

Bohn L. 1993. Química del suelo. México: Editorial Limusa, 21.

Bornemisza E. 1982. Introducción a la química de suelos. San José, Costa Rica: Editorial Secretaría General de los Estados Americanos Washington, D.C, 55.

Busse W. 2000. The significance of quality for efficacy and safety of herbal medicinal products. Drug Inf **34**: 15–23.

Cañigual S, Vila R, Wichtl M. 1998. Plantas medicinales y drogas vegetales para infusión y tisana. España: Editorial OEMF International srl, 11-13, 23-32 y 35-38.

Chapman D. 1996. Diagnostic criteria for plants and soils, USA: Editorial Universidad de California.

Duffus H. 1983. Toxicología ambiental. Barcelona, España: Editorial Omega, 42-45.

Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. 2001. México: Editorial Secretaria de Salud, Monografías 5 y 17.

Foth D. 1986. Fundamentos de la ciencia del suelo. México: Editorial Continental, 200.

Fox A, Cameron G. 2002. Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. México: Editorial Limusa.

Grande M. 1996. Determinación de Cu, Zn, Fe, Mg, Ca, Na, K, Pb, Cr, Cd y Ni en plantas comestibles y forrajeras de Ixmiquilpan Hidalgo. Tesis. UNAM.

Islas V, Sánchez J. 1992. Breve historia de la farmacia en México y en el mundo. México: Editorial AFM.

Kabata A. 1986. Trace elements in soil and plants. USA: Editorial CRC Press Inc, 51-68.

Linares E. 1990. Selección de plantas medicinales de México. México: Editorial Noriega, 19-26.

Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa, 26.

Mortvedt J. 1983. Micronutrientes en agricultura. México: Editorial A. G. T.

Mukherjee K. 1969. Microelement composition of surgance leaving during their growth and senescente. J. Indian Bot. Soc; **47**: 180-184.

Olsen E. 1990. Métodos ópticos de análisis. España: Editorial Revertè, 303.

Pérez J. 2003. Pruebas de desempeño para la cuantificación de Cd y Pb en plantas medicinales por escrofotometría de absorción atómica. Tesis. UNAM.

Rivas M<sup>a</sup>, Soriano C. 1984. Plantas, variedad y modos de vida. España: Editorial Amago; **5**: 121-122.

Rubinson J, Rubinson K. 2000. Química analítica contemporánea. México: Editorial Prentice Hall, 317-333.

Rzedowski J, Rzedowski de G. 1985. Flora fanerogámica del valle de México. México: Instituto de Ecología; **2**: 506-523 y 502-503.

Skoog A. 2001. Principios de análisis instrumental. 5ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 219-268.

Skoog A. 2002. Química analítica. 7ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 642-645.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Arun K, Cervantes C, Herminia L, Avudainayagam S. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environment International* **31**: 739-753.

Banks M, Schwab A, Henderson C. 2006. Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. *Chemosphere* **62**: 255-264.

Beauchemin D, Berman S. 1989. *Anal. Chem* **61**: 1867.

Blumwald E, Aharon G, Apse M. 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta* **1465**: 140-151.

Castro A, Choquecillo F, Félix L, et al. 2002. Investigación de metabolitos secundarios en plantas medicinales con efecto hipoglucemiante y determinación del cromo como factor de tolerancia a la glucosa. *Ciencia e Investigación*; **5**.

Fernández J. 1994. *Plantas medicinales*. Barcelona, España: Editorial Omega, 12, 285, 289.

Fuller J, Ritchie D. 1984. *Botánica general*. 5ª ed. México: Editorial Continental.

González de Buitrago J, Arilla M, Rodríguez E, Sánchez S. 1998. *Bioquímica clínica*. Madrid: Editorial Prentice Hall, 265-280.

Green M. 1996. A practical guide to Analytical method validation. *Analytical Chemistry News*, 305-309.

Kukier U, Carinne A, Rufus L, Scott A, Roseberg R. 2004. The effect of pH on metal accumulation in two alkysson species. *J. Environ. Qual*; **33**: 2090-2102.

Marshall M, Mottola H. 1985. Microelementos en agricultura. *Anal. Chem*; **57**: 729.

Martinez C, Garcia M. 1985. *Analyst. Chem*; **116**: 327-329.

McInstosh S. 1993. Perkin Elmer: TSAA-28.

Meteo C. 1987. *J. Anal. Acta Spectrochim*; **2**: 549.

Muller H. 1993. *Lambda FIAS Techniques Manual Perkin Elmer*.

Olivera H. 1982. *Validación de Procesos Farmacéuticos*. México: Editorial AFM; **14**:15.

Pardo J, Quintero F. 2002. Plantas and sodium ions: Keeping company with the enemy. *Genome Biology*; **3**: 1017.1-1017.4.

Peretto G, López G. 1991. *Anal. Acta Spectrochim*; **5**: 15.

Plaza R. 2002. Nuevas tendencias de FDA en validación. *Informacéutico*; **9**: 49-53.

(Resumen de salud pública cobalto. 2004. Presentado por: Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, Atlanta).

Ruzicka J, Arndal A. 1989. *Anal. Chem*; **216**: 243.

Schilder H. 1982. *Planta medica*; **44**: 65.

Semin B, Ivanov I, Rubin A, Parack F. 1995. High-specific binding of Fe(II) at the Mn-binding site in Mn-depleted PSII membranes from spinach. *FEBS Letters*; **375**: 223-226.

Stuart M. 1981. *Enciclopedia de hierbas y herboristería*. Barcelona, España: Editorial Omega, 169, 243, 277-279.

Tester M, Davenport R. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*; **91**: 503-527.

Valdés M, Hevia T. 1991. *Medel-Analyst*; **116**: 1141-1144.