

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE HIERRO EN HORTALIZAS, CEREALES Y LEGUMINOSAS POR ESPECTROSCOPIA VISIBLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

KARINA GONZÁLEZ PACHECO



MÉXICO D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Prof. PEDRO VILLANUEVA GONZÁLEZ
Vocal: Prof. EUGENIO OCTAVIO REYES SALAS
Secretario: Prof. ALBERTO GOMEZ PEDROSO GUDIÑO
1er. Suplente: Prof. MARÍA DEL PILAR CAÑIZARES
MACÍAS
2º. Suplente: Prof. KARLA MERCEDES DÍAZ GUTIÉRREZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

LABORATORIO 3-D, EDIFICIO A, DEPTO. QUÍMICA ANALÍTICA.
FACULTAD DE QUÍMICA. UNAM

DIRECTOR DE TESIS:

Q. PEDRO VILLANUEVA GONZÁLEZ

SUSTENTANTE:

KARINA GONZÁLEZ PACHECO

AGRADECIMIENTOS

*“De grandes sueños se componen las almas que le darán
el cambio y la prosperidad a la humanidad.
Sólo el que se atreve a ser más allá de su presente
tendrá la ilusión de tejer día a día su futuro.
Sueña, no te detengas y lucha incansablemente por
hacer realidad tus anhelos”*

Anónimo

A Dios por permitirme estar viva y ayudarme a cumplir cada una de las metas anheladas.

A mis padres al Sr. Daniel González Rivera y la Sra. Cecilia Pacheco Casales por que sin sus enseñanzas, dedicación, apoyo, confianza, comprensión no seria nada. Gracias por estar

siempre a mi lado, los quiero mucho!!!

A mi hermano Daniel por la compañía, por cada una de las risas y enojos que al final del día lo hacían diferente e inolvidable.

A mi tía y mejor amiga, Pilar Pacheco Casales por todo, absolutamente todo, tú sabes lo que significa para mi tu apoyo, gracias por todo.

A mi comi y a ese pequeño gran ser, Leo, gracias por creer, confiar y compartir la vida conmigo, los quiero!!.

A mis abuelitos, Luz Casales, Julia Rivera, Guillermo González y Leonardo Pacheco por cada uno de los momentos compartidos, las platicas y enseñanzas.

A Pedro Villanueva González por todo el apoyo para la realización de este trabajo, por aquellos momentos en que estabas siempre a mi lado, pero principalmente por tu confianza y esta hermosa amistad, en verdad muchas gracias Pedrito.

A todos mis compañeros del laboratorio 3 D, Rafa, Fer, Alejandro, Cin, Ira, Chucho, Doña Bety, Claudia, Aremi, Edgar y Jorge a cada uno gracias por la ayuda brindada y por hacer tan agradable mi estancia, a Don Javier gracias por sus palabras.

A la excelente persona, amigo, compañero, cómplice y demás, Roy, tú sabes lo que significas para mi, gracias por todo el apoyo, compañía, cariño, por cada instante compartido; porque sin ti, este sueño estaría más lejano. Te quiero!!!

A Armando, por que sabías el momento justo en el que tú presencia era más que necesaria, gracias por cada una de tus palabras.

A Missael, por la amistad de tantos años, por estar cuando más te necesite pero en especial por creer en mí...

A cada uno de mis amigos que me acompañaron durante toda la carrera en especial a Norita, Melissa, Tabata, Daniel, Carlos, Esteban, Alejandra, Jorge, Karen, Jair, Gilberto, Karen, Ana, Luis, Belem, Oscar, Christian... en verdad muchísimas gracias por absolutamente todo en especial por su compañía en los momentos difíciles.

Al profesor Agustín Reyó por toda la ayuda y apoyo pero especialmente por creer en mi, por esta amistad que creció a lo largo de estos últimos meses de ayuda, de verdad muchísimas gracias.

A la profesora Lucia Cornejo por estar cuando más la necesite, por sus enseñanzas y apoyo es muy importante para mi, gracias.

A la gran familia a la cual afortunadamente pertenezco, a cada uno de los que en algún momento de mi vida me brindaron un abrazo sincero y tuvieron una preocupación constante por cada una de mis caídas, gracias por todo.

*“En esta vida hay cosas tan poderosas como un empuje positivo:
una sonrisa, una palabra de optimismo y esperanza.
Un “tu puedes hacerlo”; cuando las cosas marchan mal.”
Richard M. DeVos*

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	.....1
2. OBJETIVOS	.....4
3. HIPÓTESIS	.....5
4. GENERALIDADES	.....6
4.1 Hierro	.....6
4.1.1 Importancia del hierro en el metabolismo	.....6
4.1.2 Carencia de hierro	.....8
4.1.3 Necesidades de ingesta diaria	.....9
4.1.4 Toxicología	.....10
4.2 Definición y clasificación de hortalizas	.....11
4.3 Espectroscopia	.....13
4.4 Espectroscopia visible y ultravioleta	.....17
4.5 Transmitancia y Absorbancia	.....18
4.6 Ley de Lambert-Beer	.....19
4.7 Gráficos de absorción y calibración	.....20
4.8 Complejo ortofenantrolina – hierro	.....21
5. METODOLOGÍA	.....25
5.1 Diagrama de flujo para la determinación de hierro total	.....25
5.2 Material, equipos y reactivos	.....27
5.3 Muestras vegetales	.....29
5.4 Acondicionamiento de la muestra vegetal	.....29
5.5 Obtención del gráfico de absorción	.....30
5.6 Preparación de la gráfica de calibración para la determinación de hierro.....	30
5.7 Preparación de la muestra	.....31
5.8 Determinación espectrofotométrica	.....32

6.	RESULTADOS	.....33
6.1	Obtención del gráfico de absorción para el complejo ortofenantrolina-Fe(II)	.....33
6.2	Obtención del gráfico de calibración para el complejo ortofenantrolina-Fe(II)	.....33
6.3	Obtención de cenizas (g) en 500 g de muestra fresca	.....34
6.4	Comparación de porcentaje de cenizas, experimental y	.....35
6.5	Contenido de hierro en mg/g de ceniza	.....36
6.6	Contenido de hierro en mg/100 g de muestra fresca	.....37
6.7	Comparación del contenido de hierro en mg/100 g de muestra, experimental y FAO	.....38
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	.....40
8.	CONCLUSIONES	.....45
9.	BIBLIOGRAFÍA	.....49
10.	ANEXOS	.....52
10.1	Preparación de disoluciones	.....52
10.2	Obtención de cenizas y comparación con los datos registrados por la FAO, por clasificación de muestras.	.....53
10.3	Contenido de hierro (mg) en un gramo de ceniza, por clasificación de muestras.	.....58
10.4	Contenido de hierro mg/ 100 gramos de muestra fresca y comparación con los datos registrados por la FAO, por clasificación de muestras.	.....63

1. INTRODUCCIÓN

El hierro (símbolo químico: Fe, del latín *ferrum*) es un elemento metálico, se le puede encontrar en la naturaleza presentando dos estados de oxidación que son, 2+ (ferroso) y 3+ (férico), aunque pueden ocurrir otros estados de oxidación más altos, como intermediarios transitorios en algunas reacciones de tipo redox.⁽¹⁾

El hierro, metal de transición, nutriente vital en el organismo animal, donde se presenta casi exclusivamente en compuestos de coordinación, basados en el núcleo de la porfirina, en particular en los pigmentos hemo, que transportan oxígeno. La alternancia entre sus dos estados de oxidación, Fe²⁺ y Fe³⁺, es una característica esencial de su contribución a las reacciones de oxidación/reducción, en las que participan las otras proteínas porfirínicas activas en la respiración, los citocromos.

La deficiencia de hierro es la deficiencia nutricional más prevalente y la principal causa de anemia a escala mundial. Además de las manifestaciones propias de la anemia, se han descrito otras manifestaciones no hematológicas tales como: disminución de la capacidad de trabajo físico y de la actividad motora espontánea, alteraciones de la inmunidad celular y de la capacidad bactericida de los neutrófilos, disminución de la termogénesis, alteraciones funcionales e histológicas del tubo digestivo, falla en la movilización de la vitamina A hepática, mayor riesgo de parto prematuro, bajo peso de nacimiento y de morbilidad perinatal, menor transferencia de hierro al feto, una disminución de la velocidad de crecimiento, alteraciones conductuales y del desarrollo mental y motor, velocidad de conducción más lenta de los sistemas sensoriales auditivo y

visual y reducción del tono vagal (relativo al control inhibitor del nervio vago sobre la frecuencia cardíaca y la conducción auriculoventricular).⁽²⁾

La mayoría del hierro contenido en los alimentos está en forma de sales, para que este nutrimento se absorba es necesario que tenga forma soluble y para ello debe encontrarse en estado reducido (Fe^{2+} o sales ferrosas), pues la forma férrica (Fe^{3+}), al ser insoluble, no puede ser absorbida por la mucosa intestinal. Vale la pena distinguir que, existen dos tipos de hierro provenientes de la dieta: el hierro no hemo proveniente de alimentos vegetales y sales minerales y el hierro hemínico contenido en la hemoglobina y mioglobina. En el presente trabajo solamente se determinó hierro no hemínico.

Cabe aclarar además, que el contenido de hierro total en los alimentos no es completamente biodisponible, ya que existen factores que afectan la absorción de hierro tales como, la presencia de favorecedores o inhibidores de la absorción, cantidad de superficie y motilidad intestinal, el estado de los depósitos de hierro, la velocidad de la eritropoyesis (formación de los eritrocitos) y la hipoxia (deficiencia de O_2 a nivel de los tejidos). Además en el caso de los alimentos vegetales, hay que considerar que abastecen también cantidades importantes de fibra, taninos y fitatos, los cuales pueden actuar de manera negativa en la absorción de hierro no hemínico.

En el presente trabajo se determinó el contenido de hierro no hemínico en diferentes productos: hortalizas, cereales y leguminosas por medio de espectroscopía visible, aprovechando la estabilidad del complejo que se forma, al hacer reaccionar la ortofenantrolina y el hierro en un medio de pH controlado.

Las muestras analizadas son las de mayor producción y consumo en la región chinampera de Xochimilco; se considera que la forma de cultivo y distribución, mercado local para productores, se realiza de una manera tradicional, de tal forma que los horticultores de esta zona no se arriesgan a modificar las condiciones de cultivo, por consiguiente se puede afirmar que los productores tienden a cultivar de la misma forma sus hortalizas y por tanto se realizó un muestreo de criterio. También se fijó el periodo de cultivo el cual fue de primavera-verano de 2006.

Una vez que se determinó la estabilidad y linealidad del sistema, se realizó un apartado analizando muestras que no se cultivan en la región chinampera de Xochimilco, tal es el caso para los cereales y leguminosas.

2. OBJETIVOS

- Se determinará la concentración de hierro, que se encuentra presente en muestras de diferentes hortalizas, cereales y leguminosas, mediante un método espectrofotométrico (complejo hierro – ortofenantrolina); esto, aprovechando la propiedad que presenta éste complejo de absorber a una longitud de onda de 510 nm, donde presenta un máximo de absorción en la zona visible del espectro electromagnético.
- Con los datos experimentales obtenidos, se realizará una comparación con los datos registrados en la FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe y si es necesario recomendar la modificación y extensión de las mismas ampliando el muestreo.

3. HIPÓTESIS

- Si la alimentación de los productores de hortalizas en la zona chinampera de Xochimilco se basa en el consumo de sus propias hortalizas, entonces determinando el contenido de hierro, formando un complejo con ortofenantrolina y usando un método espectrofotométrico en la región visible, se puede determinar e indicar si su alimentación cumple con la ingesta diaria recomendada de hierro.

4. GENERALIDADES

4.1 Hierro

El hierro es un elemento de transición, se le puede encontrar en dos estados de oxidación, 2+ y 3+, aunque pueden ocurrir otros estados de oxidación más altos, como intermediarios transitorios en algunas reacciones del tipo óxido reducción.⁽¹⁾ Existen dos series principales de compuestos de hierro: los compuestos ferrosos (molécula bivalente y los compuestos férricos (molécula trivalente).

4.1.1 Importancia del hierro en el metabolismo

El término micronutriente se refiere a las vitaminas y los minerales que son indispensables para el ser humano, que se necesitan en cantidades mínimas para los diferentes procesos bioquímicos y metabólicos del organismo. El cuerpo humano no puede sintetizar las vitaminas ni los minerales y por tanto, se deben obtener de los alimentos y en circunstancias especiales mediante la suplementación de compuestos sintéticos. Estos nutrientes son parte esencial de enzimas y proteínas que son vitales para el crecimiento físico y el desarrollo cognoscitivo, el mantenimiento fisiológico y la resistencia a la infección.⁽³⁾

La interconversión reversible entre Fe^{2+} y Fe^{3+} es una propiedad química esencial del hierro, que es utilizada por los microorganismos, plantas y animales, para sus metabolismos oxidativos y para la asimilación del metal.⁽¹⁾ En el hombre, el 70% del hierro se encuentra en la hemoglobina, proteína transportadora del oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos. Otro 25% se encuentra como reserva (ferritina y hemosiderina), un 4% como mioglobina y un 1% unido a la transferrina y como componente de diversas enzimas que participan en la producción oxidativa de energía celular, la síntesis de algunos neurotransmisores y de ADN.

El hierro es absorbido a nivel duodenal por el enterocito, regulando la absorción de hierro, según las necesidades del organismo: altos niveles corporales de hierro bloquean su absorción y bajos niveles, la incrementan. El enterocito reconoce para su absorción, a dos tipos de hierro según su forma química. El hierro no hemo consiste principalmente en sales de hierro, se encuentran en especial en los vegetales, los productos lácteos y los alimentos fortificados con hierro. Representa la mayor parte del hierro alimentario, en general >85% la absorción del hierro no hemo depende en gran medida de su solubilidad en la parte del intestino delgado que, a su vez, se relaciona con el contenido total de la comida a ese nivel. En general, la absorción de hierro no hemo depende de sustancias contenidas en la misma comida que favorecen o inhiben la solubilidad y el hierro hemo proviene esencialmente de la hemoglobina y la mioglobina contenidas en las carnes rojas, las aves y el pescado.⁽⁴⁾ El hierro no hemo es reducido en el borde de la vellosidad y captado por el transportador de metales divalentes (DMT1) que lo internaliza en la célula. Cuando el hierro no hemo está unido a compuestos reductores como el ácido ascórbico el hierro es directamente capturado por el DMT1. El hierro hemo es incorporado como molécula hem al enterocito; en el

interior de éste, el hem es degradado por la enzima hem-oxigenasa, que libera al hierro incorporándose al total de hierro del enterocito.

Además del tipo de hierro en la dieta, la absorción de hierro es afectado por otros factores como la presencia de favorecedores o inhibidores de la absorción, cantidad de superficie y motilidad intestinal, el estado de los depósitos de hierro, la velocidad de la eritropoyesis (formación de los eritrocitos) y la hipoxia (deficiencia de O₂ a nivel de los tejidos) ⁽⁵⁾. Existe una relación inversa entre la absorción y los depósitos de hierro y una relación directa con la velocidad de la eritropoyesis y con la hipoxia. Entre los factores dietarios que afectan la absorción se encuentran las proteínas que favorecen la absorción del hierro hemo y el calcio que la disminuye. En cambio, el hierro no hemo es influenciado por una gran cantidad de componentes de la dieta que afecta su absorción. ⁽⁶⁾

1.1.2 Carencia de hierro

Las manifestaciones de la carencia de hierro derivan de aquellas propia de la anemia, y otras no hematológicas causadas por una disfunción de las enzimas hierro dependiente. Se han descrito alteraciones de la capacidad de trabajo físico y de la actividad motora espontánea, alteraciones de la inmunidad celular y de la capacidad bactericida de los neutrófilos, una controvertida mayor susceptibilidad a las infecciones especialmente del tracto respiratorio, disminución de la termogénesis, alteraciones funcionales e histológicas del tubo digestivo, falla en la movilización de la vitamina A hepática, mayor riesgo de parto prematuro y de morbilidad perinatal, menor transferencia de hierro al feto, disminución de

la velocidad de crecimiento, alteraciones conductuales y del desarrollo mental y motor, velocidad de conducción más lenta de los sistemas sensoriales auditivo y visual y una reducción del tono vagal.⁽⁷⁾

Como la hemoglobina desempeña un papel muy importante en el transporte y distribución del oxígeno, la falta de hierro provoca perturbaciones en varios puntos del organismo. Esto se traduce por cansancio casi continuo, menor rendimiento en el trabajo y lo que es más grave, mayor receptibilidad a las infecciones.

La deficiencia de hierro durante la niñez se asocia con disminución en la capacidad de aprendizaje y el desarrollo motor. Las recomendaciones de consumo diario para hierro, varían con la edad y sexo, pero es importante considerar que algunos factores dietarios pueden afectar su absorción intestinal y dar como resultado una baja absorción del mineral. En países en vías de desarrollo se ha reportado que los principales aportadores de hierro son alimentos de origen vegetal, los cuales abastecen también cantidades importantes de fibra, taninos y fitatos que pueden actuar de manera negativa en la absorción de hierro no hemo.⁽⁸⁾

1.1.3 Necesidades de ingesta diaria (IDR)

La IDR es la ingesta diaria promedio que cumple con los requerimientos nutricionales de casi todas las personas saludables en una categoría específica de edad y género. La IDR de un nutriente es calculada usando el Requerimiento Promedio Estimado (RPE), el cual representa la ingesta promedio diaria de un nutriente que se estima, cumple

con los requerimientos de la mitad de los individuos saludables en una etapa particular de la vida y de cierto género.

Las IDR pueden variar ampliamente entre los diferentes países, debido a las diferencias en los hábitos alimenticios, el clima y otros factores locales importantes. ⁽⁹⁾

El Comité de Nutrición y Alimentos del Instituto de Medicina (*Food and Nutrition Board at the Institute of Medicine*) recomienda lo siguiente ⁽¹⁰⁾:

Bebés y niños:

- Menores de 6 meses: 0.27 mg/día
- De 7 meses a 1 año: 11 mg/día
- De 1 a 3 años: 7 mg/día
- De 4 a 8 años: 10 mg/día

Hombres:

- De 9 a 13 años: 8 mg/día

- de 14 a 18 años: 11 mg/día
- de 19 o más: 8 mg/día

Mujeres:

- De 9 a 13 años: 8 mg/día
- De 14 a 18 años: 15 mg/día
- De 19 a 50 años: 18 mg/día
- De 51 años o más: 8 mg/día

4.1.4 Toxicología

La DL₅₀, dosis letal media, utilizada para designar aquella dosis única, calculada estadísticamente, de una sustancia química que, según se puede pronosticar, causará la muerte del 50% de una determinada población de organismos en unas condiciones

experimentales definidas de hierro, en animales de experimentación es de 150-200 mg/Kg_{peso corporal}

La dosis letal más baja descrita en la infancia es de 600 mg.

Dosis tóxica: 20 - 60 mg/kg de hierro elemento:

- 20 - 30 mg/kg: Vómitos, dolor abdominal, diarrea.
- > 40 mg/Kg: Coma, discrasia sanguínea.

Dosis potencialmente letal: > 60 mg/Kg.⁽¹¹⁾

4.2 Definición y clasificación de hortalizas.

Hortaliza: Plantas o partes de las mismas cultivadas como alimentos. Algunos alimentos que son botánicamente frutas, como tomate y pepino y ciertas semillas como chícharo y habas verdes, se incluyen entre las hortalizas. Como fuentes de nutrientes, las hortalizas proporcionan buenos aportes de vitamina C y minerales; las hortalizas radicales proporcionan carbohidratos, pero sólo las semillas son una buena fuente proteica.⁽¹²⁾

Leguminosa: Vasta familia de plantas utilizadas en alimentación con fines muy variados. Unas se cultivan para la producción de forraje y otras por sus semillas y derivados, utilizados en la alimentación humana y animal. Entre las especies explotadas por sus semillas podemos destacar:

- Las leguminosas denominadas domésticas o “legumbres secas”, que forman parte directa de la alimentación humana por ejemplo alubias, lentejas, garbanzo, habas, etc.
- Otras especies se denominan industriales pues desde hace un siglo se cultivan a gran escala con objeto de obtener aceite y tortas proteicas. Entre las más importantes destacan el cacahuete y la soya.⁽¹³⁾

Legumbres: Miembros de la familia de las leguminosas, consumidas por el hombre y por los animales domésticos. Se ingieren como semillas maduras (legumbres propiamente dichas) o como vainas verdes o inmaduras ejemplo de ello se encuentra el cacahuete y soya.⁽¹²⁾

Cereales: granos de gramíneas que constituyen la base de la alimentación en muchos pueblos sedentarios. Hay cereales susceptibles de desarrollarse en casi todo tipo de climas, cualquiera que sea la temperatura y la humedad, excepto en la zona ecuatorial cálida y húmeda.⁽¹²⁾

Órgano	Hortaliza
Raíz	Nabo, rabanito, rábano, zanahoria.
Tubérculo	Papa, camote.
Tallo	Espárrago, nopal.
Bulbo	Ajo, cebolla, cebollín.
Hoja	Acelga, berro de agua, cebollino japonés, cilantro, col crespita, diente de león, espinaca, hinojo, lechuga, perejil.
Pecíolo	Apio, cardo, hinojo.
Inflorescencia	Alcachofa, brócoli, coliflor.
Fruto inmaduro	Ají, chayote, pepino, pimiento.
Fruto maduro	Ají, berenjena, melón, pepino dulce, pimiento, sandía, tomate, chile, jitomate.
Semilla inmadura	Chícharo, haba verde, soya verde.

Tabla 1. Clasificación de hortalizas según el órgano de consumo.

Para fines del presente trabajo se propuso una clasificación, de acuerdo a los productos que se cosechan en la zona chinampera e incluyendo la muestras analizadas en su totalidad, a saber:

Clasificación		Hortaliza
Semillas	Leguminosas	Chícharo, habas verdes, garbanzo, alverjón, soya, alubia grande, lenteja, cacahuete.
	Cereales	Avena, trigo, sorgo.
Frutos		Calabacita, pepino, chayote.
Hojas		Berros, quintoniles, acelga, romero, verdolagas, lechuga, cilantro, espinaca, quelites.
Flores		Brócoli.
Tallos		Apio
Raíces		Sin muestra empleada.
Bulbos		Sin muestra empleada.

Tabla 2. Clasificación de muestras analizadas.

4.3 Espectroscopia

La espectroscopia es el estudio de la interacción de la luz con los iones, átomos y las moléculas, requiriéndose conocer la naturaleza de la radiación, que es la emisión y transmisión de la energía a través del espacio en forma de ondas, según Planck, onda, es una perturbación vibracional por medio de la cual se transmite la energía.

La longitud de onda, λ , es la distancia entre las crestas de dos ondas. La frecuencia, ν , es el número de oscilaciones completas de una onda en un segundo, la unidad de

frecuencia es el inverso de los segundos, s^{-1} . La relación entre frecuencia y longitud de onda es:

$$\nu\lambda = c$$

donde: ν es la frecuencia

λ es la longitud de onda

c es la velocidad de la luz ($2,998 \times 10^8$ m/s en el vacío)

En un medio distinto del vacío, la velocidad de la luz es c/n , donde n es el índice de refracción de ese medio.

La longitud de onda (λ) se mide de cresta a cresta

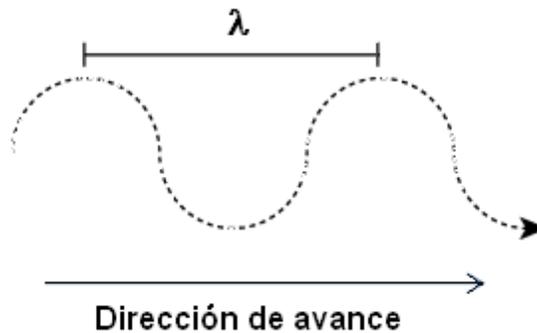


Figura 1. Esquema de onda.

Para longitudes de onda en el visible la mayoría de las sustancias tienen $n > 1$, de modo que la luz visible se propaga más lentamente a través de la materia que en el vacío. Cuando la luz atraviesa dos medios con diferentes índices de refracción, la frecuencia permanece constante, pero varía la longitud de onda.

Desde el punto de vista de la energía, es más conveniente concebir la luz como partículas, llamadas fotones. Cada fotón transporta la energía, E , dada por:

$$E = h\nu$$

donde: h es la constante de Planck (6.62618×10^{-34} J·s)

ν es la frecuencia

La ecuación anterior afirma que la energía es proporcional a la frecuencia, combinando las ecuaciones tenemos:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = hc\bar{\nu}$$

donde: h es la constante de Planck (6.62618×10^{-34} J·s)

c es la velocidad de la luz ($2,998 \times 10^8$ m/s en el vacío)

λ es la longitud de onda

$\bar{\nu}$ es el número de onda

La energía es inversamente proporcional a la longitud de onda, pero directamente proporcional al número de onda. La unidad SI del número de onda es el inverso del metro, m^{-1} , sin embargo, la unidad más corriente del número de onda en la literatura es cm^{-1} , que se lee inverso de centímetros o número de onda.⁽¹⁴⁾ La definición exacta del número de onda depende del campo en estudio, pero el caso más común es:

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

donde: $\bar{\nu}$ es el número de onda

λ es la longitud de onda en el medio.

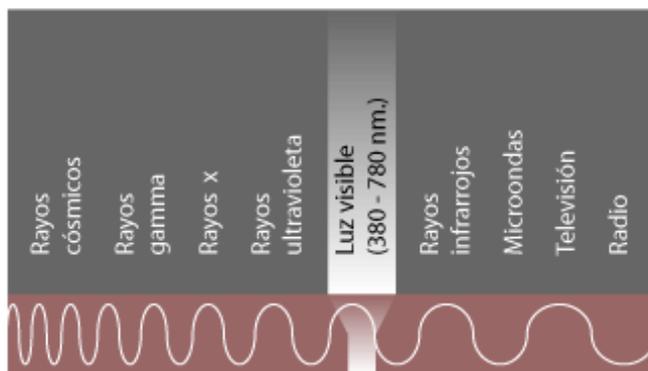


Figura 2. Espectro electromagnético.

La espectroscopia es un estudio muy amplio y comprende desde los diversos métodos para la obtención de espectros, su medida y aplicaciones químicas, principalmente de tipo analítico. La palabra espectro se refiere a la interacción de la radiación electromagnética con la materia. En este sentido, un espectro puede definirse como una representación gráfica de la distribución de intensidad de la radiación electromagnética, emitida o absorbida por una muestra de sustancia, en función de la longitud de onda (o frecuencia) de dicha radiación. Se distinguen así, en primer lugar, dos tipos de espectros: de emisión y de absorción.

Los espectros de emisión se obtienen excitando adecuadamente una muestra de sustancia, para que emita radiación electromagnética, cuya intensidad se registra en función de su longitud de onda o de su frecuencia mediante un espectrómetro. El espectro de emisión de una misma sustancia varía con el modo de excitación.

Para obtener un espectro de absorción se ilumina una muestra de sustancia con radiación continua, como la emitida, analizando mediante un espectrómetro, la proporción de radiación absorbida por la muestra en función de su longitud de onda o de su frecuencia.

Una banda de absorción está caracterizada por:

- Su posición
- Su intensidad

La posición de la absorción, corresponde a la longitud de onda de la radiación cuya energía es igual a la energía requerida para llevarse a cabo una transición electrónica, la intensidad de la absorción depende de:

- La posibilidad de interacción entre la energía de la radiación y el sistema electrónico
- La diferencia entre el estado basal y el estado excitado

La intensidad de las bandas generalmente se representan en gráficas como: ⁽¹²⁾

- % transmitancia en función de la longitud de onda
- Absorbancia en función de la longitud de onda.

4.4 Espectroscopia visible y ultravioleta

La espectroscopia visible-ultravioleta es una de las técnicas más amplia y frecuentemente empleadas en el análisis químico.

La base de la espectroscopia visible y ultravioleta consiste en medir la intensidad de la radiación absorbida por un analito en disolución a una longitud de onda específica, comparándola con otras disoluciones de concentración conocida que contengan la misma especie absorbente.

Para obtener esta relación se emplea la Ley de Lambert-Beer, que establece que para una misma especie absorbente en una celda de espesor constante, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración.⁽¹⁵⁾

Frecuentemente se induce a la formación de un complejo colorido que absorba en zona del visible y que sea específico para el elemento o compuesto que se desea cuantificar espectroscópicamente. Tal es el caso de la formación de un complejo colorido que se forma al reaccionar hierro con ortofenantrolina bajo cierto intervalo de pH, para lo cual, se agrega una disolución reguladora que mantenga las condiciones de pH requeridas.

4.5 Transmitancia y Absorbancia

La transmitancia se define como la fracción de la luz incidente que pasa a través de la muestra.

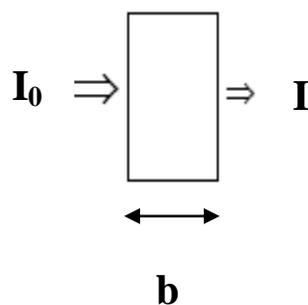


Figura 3. Esquema de transmitancia.

La figura anterior se muestra un haz de radiación monocromática paralela, antes I_0 y después I , de que ha pasado a través de una capa de disolución que tiene un espesor b en cm y una concentración c en moles/litro, de una especie absorbente. Como consecuencia de interacciones entre los fotones y las partículas absorbentes, la potencia del haz es atenuada. La transmitancia T de la disolución es entonces la fracción de la radiación incidente y transmitida por la disolución y expresada como:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

donde: $I \leq I_0$

$$0 \leq T \leq 1$$

La transmitancia se expresa a menudo como porcentaje:

$$\% T = \frac{I}{I_0} \times 100$$

Y la absorbancia A , de una disolución se define mediante la ecuación:

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I}$$

4.6 Ley de Lambert-Beer

La absorbancia que presenta un analito en disolución, es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente c y a la longitud de trayecto b del medio de absorción, se expresa en la siguiente ecuación:

$$A = a b c$$

Siendo a la constante de proporcionalidad llamada absorptividad. La magnitud de a dependerá de las unidades empleadas para b y c . A menudo b es dada en términos de cm y c en gramos por litro, entonces la absorptividad tiene unidades de $L g^{-1}cm^{-1}$.

Cuando la concentración se expresa en moles por litro y la longitud de la celda en centímetros, la absorptividad se llama absorptividad molar, se designa como ϵ y tiene unidades de $L mol^{-1}cm^{-1}$, entonces la absorbancia es:

$$A = \epsilon b c$$

4.7 Gráficos de absorción y calibración

Denominamos espectro de absorción de una sustancia a la representación de absorbancia (A) en función de longitud de onda (λ); este gráfico presenta ondulaciones con máximos y mínimos.

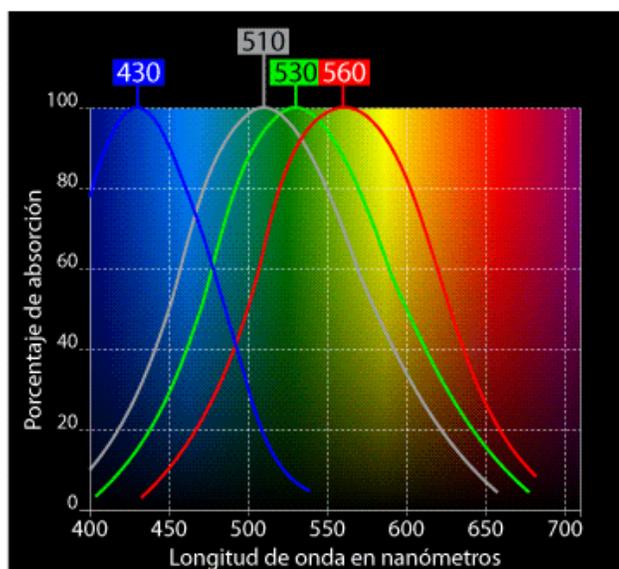


Figura 4. Gráfico de absorción.

Para hacer las determinaciones cuantitativas se elige, en general, la longitud de onda correspondiente a un máximo, pues el error de medición es mínimo y la sensibilidad máxima.

Para verificar el cumplimiento de la Ley de Lambert-Beer, se debe realizar la gráfica de calibración; absorbancia (A) en función de concentración (c), para lo cual se preparan disoluciones de la sustancia, de concentraciones conocidas y se mide la absorbancia a la longitud de onda elegida de máxima absorción.

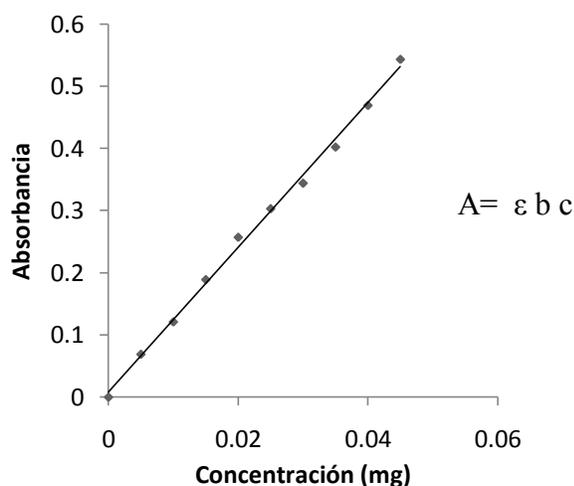


Figura 5. Gráfico de calibración.

4.8 Complejos de ortofenantrolina-hierro

El compuesto 1,10-fenantrolinas, $C_{12}H_8N_2$ reacciona con Fe^{2+} originando un complejo de coordinación polidentado intensamente rojo, $Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{2+}$, denominado ordinariamente ferroína; la intensidad del color es independiente del pH en el rango de 2 a 9, el complejo es muy estable y la intensidad del color no cambia en forma apreciable durante largos periodos y obedece a la Ley de Beer.

Un ejemplo de este análisis, es la determinación colorimétrica del hierro (III) en agua por formación de un quelato con 1,10-fenantrolina; sólo forma un quelato muy estable con el hierro (II), primero se añade hidroxilamina para reducir el hierro (III), el hierro debe estar en el estado de oxidación de +2 y por lo tanto, el agente reductor se adiciona antes de desarrollar el color, primero se añade hidroxilamina y la reacción es:



Considerando que se realiza la reacción en un medio neutro.⁽¹⁶⁾

El hierro (II) resultante entonces forma el quelato con la 1,10-fenantrolina.

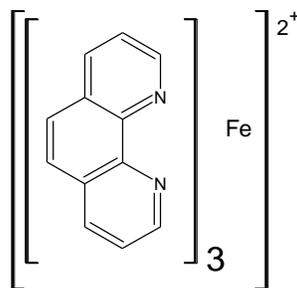
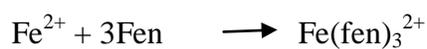


Figura 6. Esquema del complejo ortofenantrolina-Fe(II).

Este complejo se oxida al correspondiente complejo férrico, ferriina, de color azul pálido:

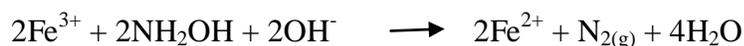


Rojo

azul pálido

Unos cuantos iones como el cobre (I) también forman complejos con la 1,10-fenantrolina, pero ninguno de ellos tiene el color tan intenso ni absorbe tan fuerte a ≈ 510 nm.

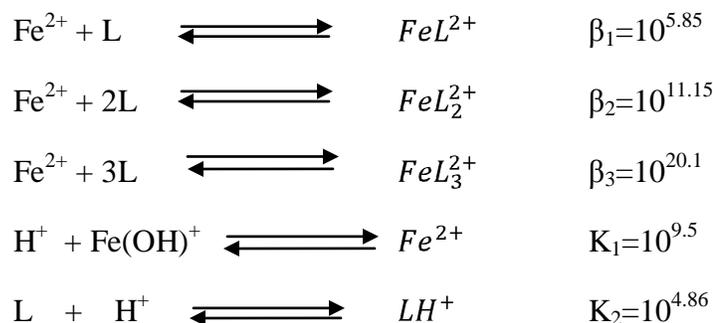
Por otro lado, en la bibliografía también se ha reportado que, el hierro debe estar en el estado de oxidación +2 y por lo tanto, el agente reductor se adiciona antes de desarrollar el color. Se puede utilizar la hidroxilamina, en forma de cloruro y la reacción es:



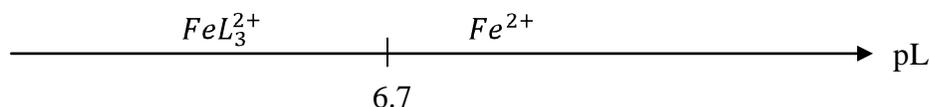
El pH se ajusta a un valor de 6 y 9 agregando amoníaco o acetato de sodio.⁽¹⁷⁾

Considerando lo reportado en la bibliografía, para la determinación de hierro con la formación del complejo con 1,10-fenantrolina es este trabajo experimental, se realizó lo siguiente:

Primero se consideran las constantes de formación para los complejos Fe(II)-L reportadas en la literatura, así como las constantes de disociación ácida para el Fe(II) y la 1,10-fenantrolina; las constantes reportadas son las que se muestran a continuación:



A partir de las constantes reportadas para los complejos Fe(II)-L se obtiene el siguiente diagrama unidimensional, sin considerar el efecto de pH.

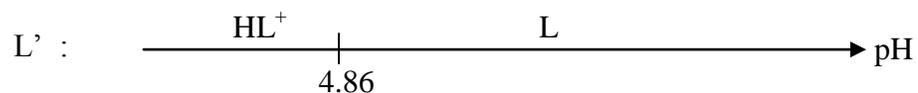


Como se puede observar en el diagrama anterior, el complejo FeL_3^{2+} es el único de los complejos de Fe(II) con L que pueden predominar, ya que $\text{FeL}_2(\text{II})$ y $\text{FeL}(\text{II})$ dismutan en todo el intervalo de pH, debido a los valores de sus constantes de dismutación.

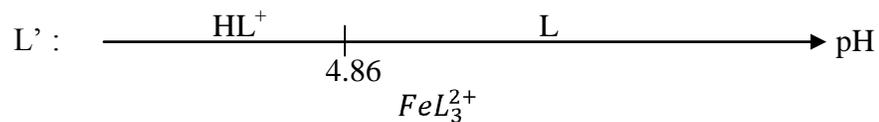
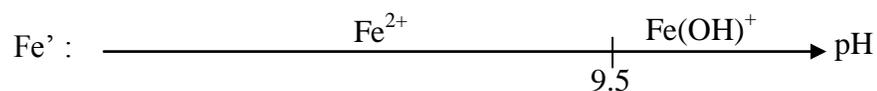
Ahora se toma en cuenta el efecto de pH, para el Fe(II) se obtiene el siguiente diagrama de predominio de especies:



Para la 1,10-fenantrolina (L'):



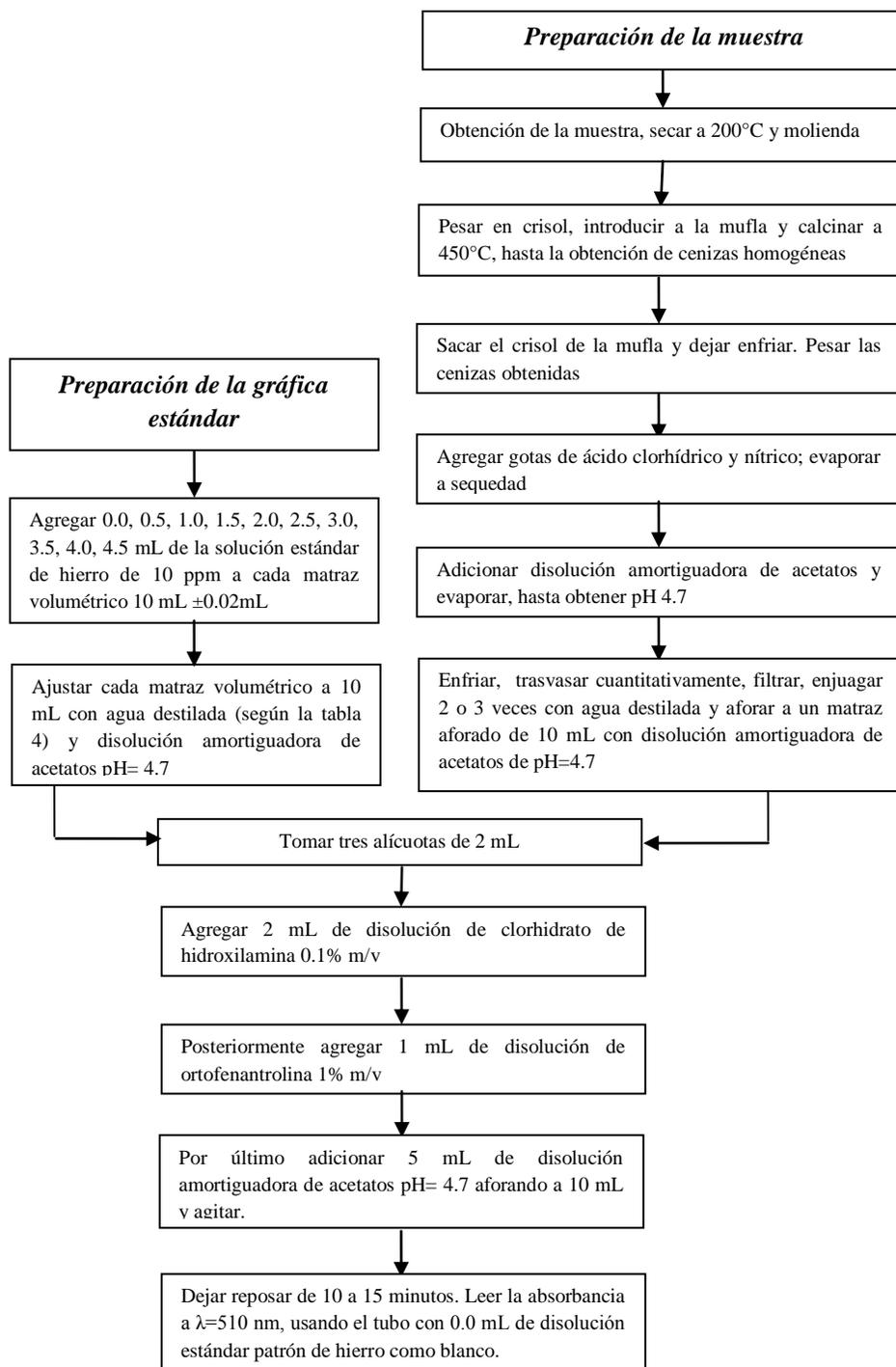
A partir de los diagramas anteriores se construye lo siguiente:



Considerando los equilibrios representativos en cada intervalo de pH, se puede establecer el pH en el cual el complejo ortofenantrolina-Fe(II) es estable y la reacción es cuantitativa, manejando un $4.7 \leq \text{pH} \leq 9.5$ para la determinación y cuantificación de hierro en este trabajo experimental .

5. METODOLOGÍA

5.1 Diagrama de flujo para la determinación de hierro total



Determinación de hierro total

AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15^a Ed. Vol. 11 pag. 778-779. 1990

Fundamento

La materia orgánica es incinerada hasta su completa degradación para obtener las cenizas (conjunto de minerales), después se aprovecha la solubilidad de las mismas en ácido clorhídrico y agua. El hierro férrico presente se reduce con clorhidrato de hidroxilamina. El hierro ferroso reacciona con la o-fenantrolina para dar un complejo anaranjado rojizo $[(C_{12}H_8N_2)_3Fe]^{2+}$, la intensidad de la coloración no depende del pH en el intervalo de pH 2 – 9 y es muy estable.

5.2 Material, equipos y reactivos

Material

- Mortero con pistilo
- Charolas de aluminio
- Crisoles
- Naves para pesar
- Espátula de nicromel
- Vasos de precipitados de 100 mL $\pm 5\%$
- Vasos de precipitados de 150 mL $\pm 5\%$
- Vasos de precipitados de 250 mL $\pm 5\%$
- Matraces volumétricos de 1L ± 0.30 mL
- Matraces volumétricos de 500 mL ± 0.40 mL
- Matraces volumétricos de 250 mL ± 0.24 mL
- Matraces volumétricos de 100 mL ± 0.1 mL
- Matraces volumétricos de 10 mL ± 0.02 mL
- Celdas de vidrio de 1 cm de paso óptico
- Pizeta
- Pipetas de 1 mL ± 0.02 mL
- Pipetas de 5 mL ± 0.04 mL
- Pipetas de 10 mL ± 0.1 mL
- Pipetas volumétricas de 1 mL ± 0.012 mL
- Pipetas volumétricas de 2 mL ± 0.012 mL
- Pipetas volumétricas de 5 mL ± 0.01 mL
- Pipetas volumétricas de 10 mL ± 0.01 mL
- Pipetas pasteur con bulbo
- Propipetas
- Viales

Equipo

- Balanza analítica Sartorius modelo BP 210 S de capacidad máxima de 210 g y una sensibilidad de 0.1 mg
- Balanza granataria OHAUS
- Mufla modelo 051 PT

- Estufa
- Espectrofotómetro Perkin Elmer Hitachi 200 con celdas de vidrio de 1 cm de paso óptico
- Potenciómetro, Conductronic moledo pH 120 con electrodo combinado de vidrio y calomel

Reactivos

- Ortofenantrolina
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico
- Clorhidrato de hidroxilamina
- Acetato de sodio
- Ácido acético

Disoluciones

- Ortofenantrolina al 1% m/v
- Disolución estándar de hierro 10 ppm.
- Disolución de clorhidrato de hidroxilamina 0.1% m/v
- Disolución amortiguadora de acetatos de pH 4.7 y concentración analítica 0.1M.

5.3 Muestras vegetales

Hortalizas:

- Acelga
- Apio
- Berros
- Brócoli
- Calabacitas
- Cilantro
- Chayote
- Espinacas
- Lechuga
- Pepino
- Quelites
- Quintoniles
- Romeros

- Verdolagas

Cereales y leguminosas:

- Alverjón
- Alubia grande
- Avena
- Cacahuate
- Chícharo
- Garbanzo
- Haba verde
- Lenteja
- Soya
- Sorgo
- Trigo

5.4 Acondicionamiento de la muestra vegetal.

- Las muestras de hortalizas, cereales y leguminosas, 500 g, obtenidas del mercado de Xochimilco en el periodo primavera-verano 2006; se lavaron para la eliminación de tierra y otras fuentes de contaminación. Se depositó cada muestra en charolas de aluminio y dejó secar en una plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 200°C. Posteriormente se molió en el mortero y en algunos casos se

utilizó licuadora, para disminuir el tamaño de la muestra seca. Se colocó la muestra seca en crisoles a peso constante y posteriormente se llevaron a la mufla para su calcinación a 450°C. Se mantuvo en la mufla hasta la obtención de cenizas blancas. Se registró el peso de la muestra húmeda, seca y cenizas.

5.5 Obtención de la gráfica de absorción.

- Con la disolución estándar de hierro de 10 ppm, se desarrolló el complejo colorido con ortofenantrolina, basado en la tabla siguiente:

Fe ³⁺ mL*	Hidroxilamina mL**	ortofenantrolina mL***	amortiguadora mL****	Agua destilada mL
2.0	2.0	1.0	2.5	2.5

Tabla 3. Cantidad de reactivos para obtener el gráfico de absorción del complejo ortofenantrolina- Fe (II)

- * Disolución de hierro 10 ppm
- ** Clorhidrato de hidroxilamina 0.1% m/v
- *** Disolución de Ortofenantrolina 0.1% m/v
- **** Disolución amortiguadora de acetatos pH=4.7 y de concentración 0.1 M

- Se dejó reposar de 10 a 15 minutos para el desarrollo del color, se homogenizó y registró el valor de absorbancia, variando la longitud de onda cada 10 nm en un intervalo de longitud de onda de 450 a 490 nm, cada 5 nm en un intervalo de 495 a 530 nm y nuevamente cada 10 nm en un intervalo de 530 a 600 nm. Se obtuvo el gráfico correspondiente y con ello, la longitud de onda de máxima absorción.

5.6 Preparación de la gráfica de calibración para la determinación de hierro

- En matraces volumétricos de 10 mL se adicionaron las cantidades correspondientes de los reactivos utilizados según la siguiente tabla, después se completa con agua

destilada hasta el volumen correspondiente, homogenizar y dejar reposar de 10 a 15 minutos para el desarrollo del color.

Tubo	hierro mL*	Hidroxilamina mL**	ortofenantrolina mL***	amortiguadora mL****	H ₂ O destilada
1	0.0	2.0	1.0	2.5	4.5
2	0.5	2.0	1.0	2.5	4.0
3	1.0	2.0	1.0	2.5	3.5
4	1.5	2.0	1.0	2.5	3.0
5	2.0	2.0	1.0	2.5	2.5
6	2.5	2.0	1.0	2.5	2.0
7	3.0	2.0	1.0	2.5	1.5
8	3.5	2.0	1.0	2.5	1.0
9	4.0	2.0	1.0	2.5	0.5
10	4.5	2.0	1.0	2.5	0.0

Tabla 4. Cantidad en mL de los reactivos necesarios para la preparación del gráfico de calibración para el complejo ortofenantrolina-Fe(II).

* Disolución de hierro 10 ppm

** Clorhidrato de hidroxilamina 0.1% m/v

*** Disolución de Ortofenantrolina 0.1% m/v

**** Disolución amortiguadora de acetatos de pH=4.7 y concentración 0.1 M

5.7 Preparación de la muestra

- Se pesó aproximadamente 100 mg de las cenizas de cada muestra, registrando cada uno de los pesos utilizados, posteriormente se le agregaron gotas de ácidos clorhídrico y nítrico, para solubilizar los iones presentes en las cenizas, en este caso el hierro. Se dejó actuar la mezcla de ácidos, posteriormente la muestra se sometió a un calentamiento en parrilla para la evaporación de los mismos y se le adicionó la disolución amortiguadora de acetatos de pH=4.7 para continuar con la evaporación de los ácidos, cuando el pH se encontró en el valor establecido de 4.7, se detuvo la evaporación, se dejó enfriar la muestra, se filtró y trasvasó a un matraz aforado de 10 mL y aforó a la marca con disolución amortiguadora de acetatos de pH=4.7 para mantener el pH.

5.8 Determinación espectrofotométrica

- Se tomaron 2 mL de la muestra acondicionada y se agregaron los siguientes reactivos: 2 mL de disolución de clorhidrato de hidroxilamina 0.1%, 1 mL de disolución de ortofenantrolina y 5 mL de disolución amortiguadora de acetatos de pH=4.7. Se dejó reposar por 15 minutos, esperando el desarrollo de coloración y continuamos con la determinación de absorbancia en un espectrofotómetro Perkin Elmer Hitachi 200 utilizando celdas de vidrio de un centímetro de paso óptico.
- Con los datos obtenidos: cantidad de cenizas totales, cenizas utilizadas para la determinación espectrofotométrica, absorbancia y gráfica estándar, se realizaron los cálculos y gráficos correspondientes.

6. RESULTADOS

6.1 Obtención del gráfico de absorción para el complejo ortofenantrolina-Fe(II)

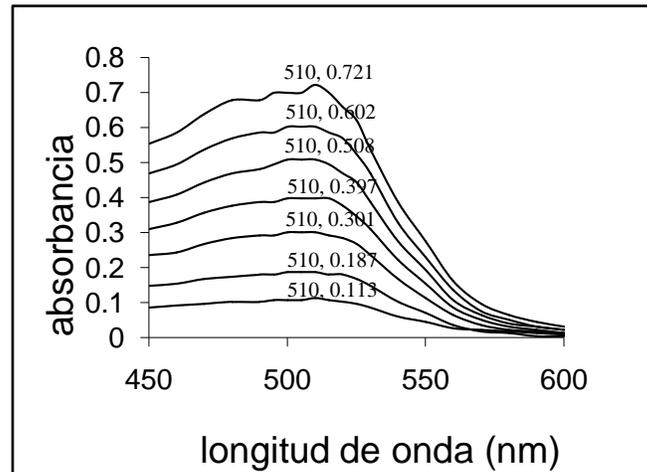


Gráfico1. Absorción del complejo ortofenantrolina- Fe(II)

6.2 Obtención del gráfico de calibración para el complejo ortofenantrolina-Fe(II)

Tubo	concentración (mg hierro)	absorbancia (510 nm)
1	0.000	0.000
2	0.005	0.069
3	0.010	0.121
4	0.015	0.189
5	0.020	0.257
6	0.025	0.303
7	0.030	0.344
8	0.035	0.402
9	0.040	0.469
10	0.045	0.543

Tabla 5. Absorbancias de la gráfica de calibración para el complejo ortofenantrolina-Fe(II)

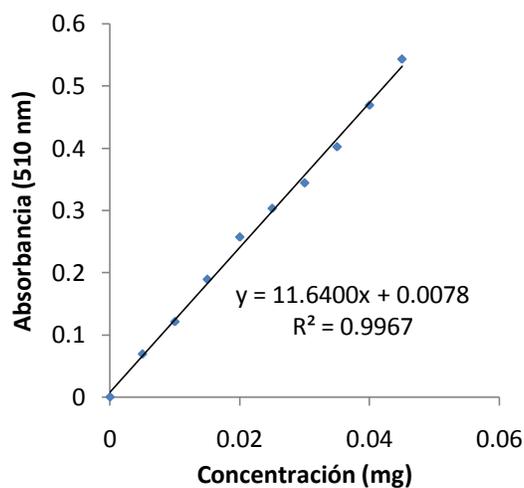


Gráfico 2. Gráfico de calibración para el complejo ortofenantrolina-Fe(II).

6.3 Obtención de cenizas (g) en 500 gramos de muestra fresca.

	Muestra	Cenizas (g)
Hojas	Acelga	8.9010
	Berros	16.0290
	Cilantro	11.5314
	Espinacas	7.8770
	Lechuga	33.4000
	Quelites	3.7321
	Quintoniles	9.6051
	Romeros	12.7040
	Verdolagas	13.0052
	Frutos	Calabacita	2.7244
Chayote		1.7810
Pepino		1.8653
Flor	Brócoli	4.8047
Tallo	Apio	14.9536
Cereales	Avena	7.7305
	Sorgo	5.4607
	Trigo	8.4463
Leguminosas	Alubia grande	21.2487
	Alverjón	14.2675
	Cacahuete	11.9223
	Chícharo	2.2125
	Garbanzo	13.6303
	Habas verdes	13.4650
	Lenteja	48.1123
Soya	35.4414	

Tabla 6. Contenido de cenizas en 500 g de muestra fresca.

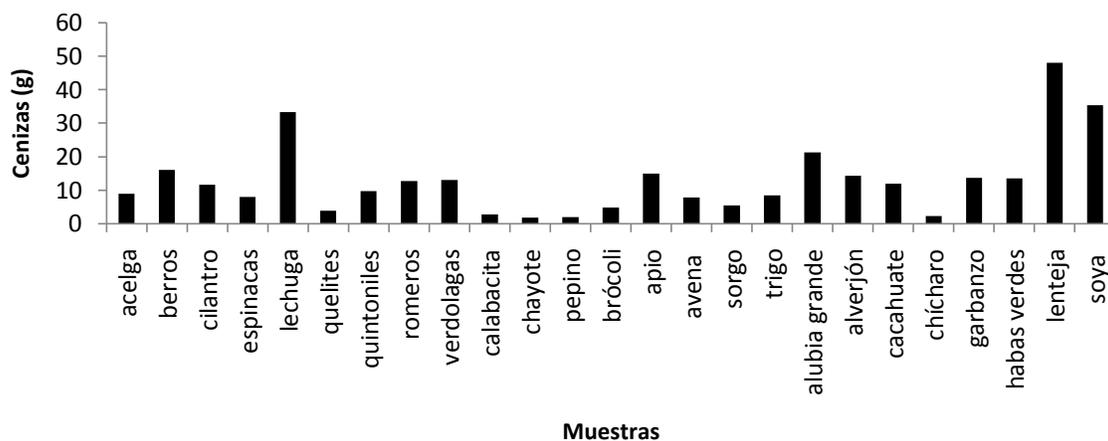


Gráfico 3. Gráfico de contenido de cenizas en 500 g de muestra fresca

6.4 Comparación de porcentaje de cenizas experimental y FAO

	Muestra	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Hojas	Acelga	2.2	1.7802
	Berros	1.5	3.2058
	Cilantro	0.7	2.3063
	Espinacas	1.6	1.5754
	Lechuga	0.5	6.6800
	Quelites	3.7	0.7464
	Quintoniles	No reportado	1.9210
	Romeros	1.8	2.5408
	Verdolagas	1.8	2.6010
	Frutos	Calabacita	0.5	0.5449
Chayote		0.4	0.3562
Pepino		0.6	0.3731
Flor	Brócoli	0.9	0.9609
Tallo	Apio	0.8	2.9907
Cereales	Avena	No reportado	1.5461
	Sorgo	No reportado	1.0921
	Trigo	2.1	1.6893
Leguminosas	Alubia grande	3.7	4.2497
	Alverjón	3.1	2.8535
	Cacahuate	2.6	2.3845
	Chícharo	0.8	0.4425
	Garbanzo	3.4	2.7161
	Habas verdes	No reportado	2.6930
	Lenteja	3.3	9.6225
	Soya	4.7	7.0883

Tabla 7. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.

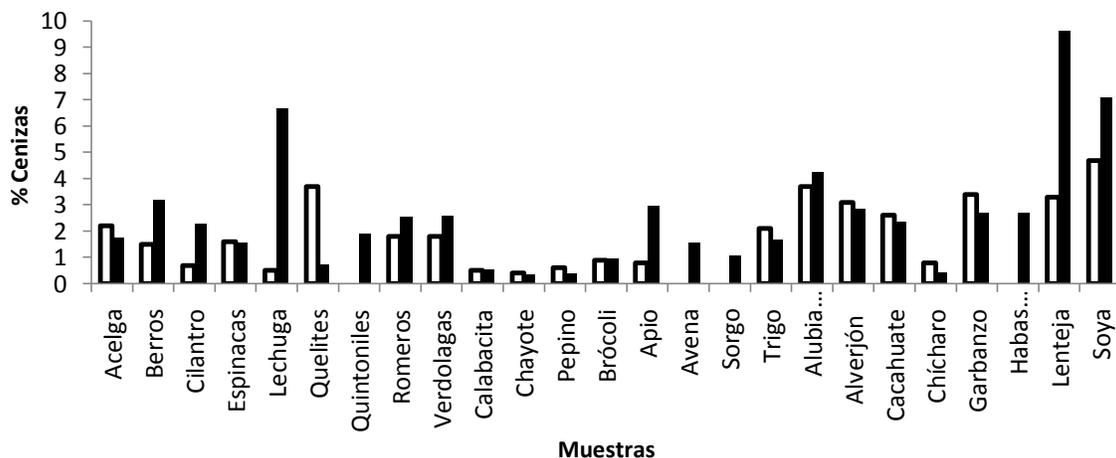


Gráfico 4. Gráfico de comparación de porcentaje de cenizas experimental y FAO

6.5 Contenido de hierro (mg) en un gramo de ceniza

	Muestra	mg hierro en 1g ceniza
Hojas	Acelga	0.5764
	Berros	0.9870
	Cilantro	0.5779
	Espinacas	1.6135
	Lechuga	0.3956
	Quelites	2.0358
	Quintoniles	0.9852
	Romeros	0.4356
	Verdolagas	0.6862
	Frutos	Calabacita	0.4123
Chayote		0.3041
Pepino		0.2044
Flor	Brócoli	1.4745
Tallo	Apio	No calculable
Cereales	Avena	2.1262
	Sorgo	1.7024
	Trigo	0.3213
Leguminosas	Alubia grande	0.1588
	Alverjón	1.2717
	Cacahuate	0.6454
	Chícharo	1.7351
	Garbanzo	0.9865
	Habas verdes	0.8784
	Lenteja	1.7785
Soya	1.6557	

Tabla 8. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

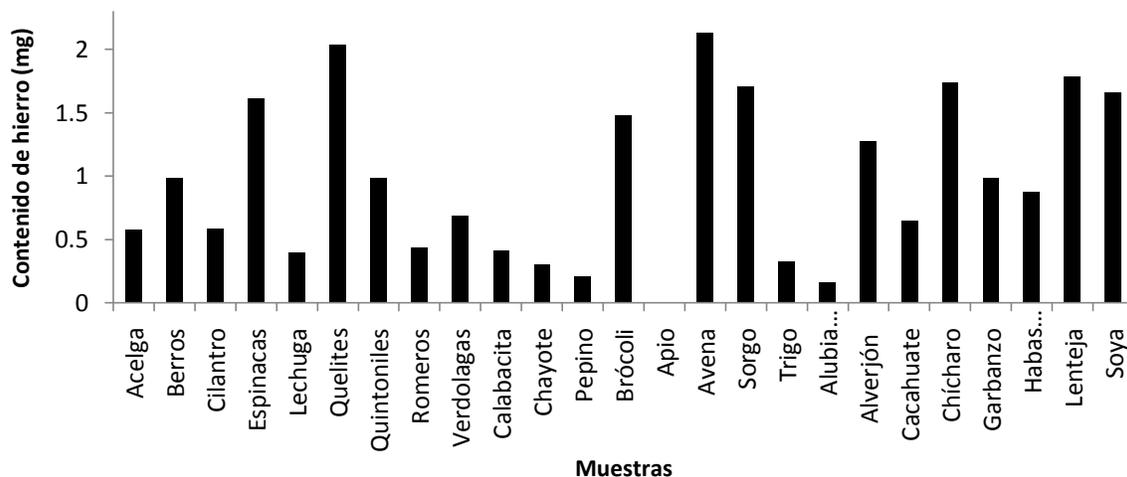


Gráfico 5. Contenido de hierro en un gramo de ceniza

6.6 Contenido de hierro mg/ 100 gramos de muestra fresca.

	Muestra	%Fe (mg) en muestra fresca Experimental	Desviación estándar
Hojas	Acelga	1.0261	±0.0322
	Berros	3.1641	±0.2891
	Cilantro	1.3328	±0.1353
	Espinacas	2.5419	±0.0737
	Lechuga	2.6429	±0.1241
	Quelites	1.5195	±0.1524
	Quintoniles	1.8926	±0.0392
	Romeros	1.1068	±0.0204
	Verdolagas	1.7848	±0.0822
	Frutos	Calabacita	0.2247	±0.0240
Chayote		0.1083	±0.0123
Pepino		0.0763	±0.0078
Flor	Brócoli	1.4169	±0.0484
Tallo	Apio	No calculable	No calculable
Cereales	Avena	3.2874	±0.0325
	Sorgo	1.8593	±0.0161
	Trigo	0.5427	±0.0432
Leguminosas	Alubia grande	0.6748	±0.0023
	Alverjón	3.6287	±0.1162
	Cacahuete	1.5389	±0.0848
	Chícharo	0.7678	±0.0506
	Garbanzo	2.6893	±0.1148
	Habas verdes	2.3656	±0.0850
	Lenteja	17.1140	±0.8154
	Soya	11.7358	±0.1963

Tabla 9. Contenido de hierro en 100 gramos de muestra fresca.

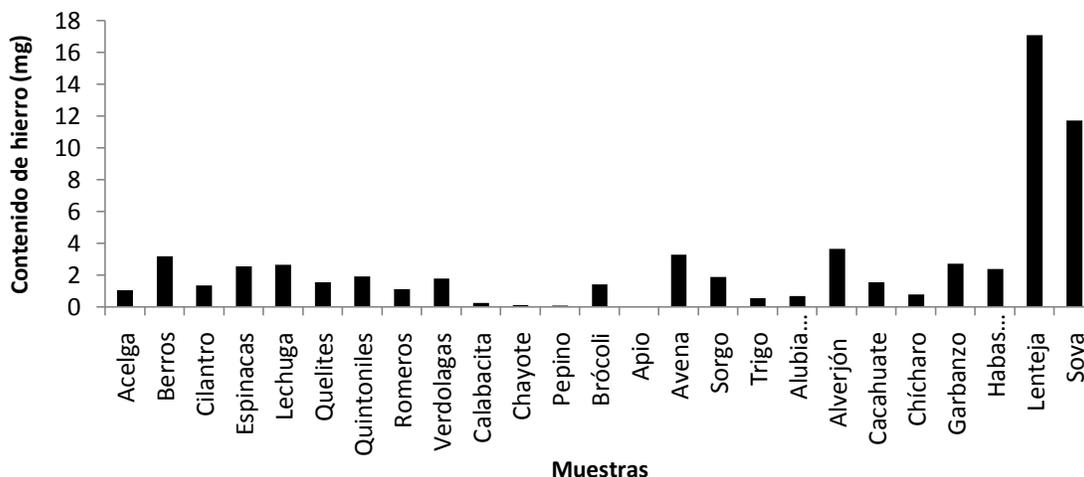


Gráfico 5. Contenido de hierro en 100 gramos de muestra fresca

6.7 Comparación del contenido de hierro mg/ 100 gramos de muestra fresca experimental y FAO

	Muestra	%Fe (mg) en muestra fresca Experimental	%Fe (mg) en muestra fresca FAO
Hojas	Acelga	1.0261	3.9
	Berros	3.1641	2.6
	Cilantro	1.3328	2.3
	Espinacas	2.5419	4.4
	Lechuga	2.6429	0.4
	Quelites	1.5195	3.6
	Quintoniles	1.8926	No reportado
	Romeros	1.1068	2.5
	Verdolagas	1.7848	1.9
	Frutos	Calabacita	0.2247	0.5
Chayote		0.1083	1.7
Pepino		0.0763	0.3
Flor	Brócoli	1.4169	1.1
Tallo	Apio	No calculable	1.4
Cereales	Avena	3.2874	No reportado
	Sorgo	1.8593	No reportado
	Trigo	0.5427	0.9
Leguminosas	Alubia grande	0.6748	0.0324
	Alverjón	3.6287	1.1663
	Cacahuate	1.5389	0.5489
	Chicharo	0.7678	1.6293
	Garbanzo	2.6893	0.8883
	Habas verdes	2.3656	0.7697
	Lenteja	17.1140	1.6729
	Soya	11.7358	1.5511

Tabla 10. Comparación del contenido de hierro en 100 gramos de muestra fresca experimental y FAO

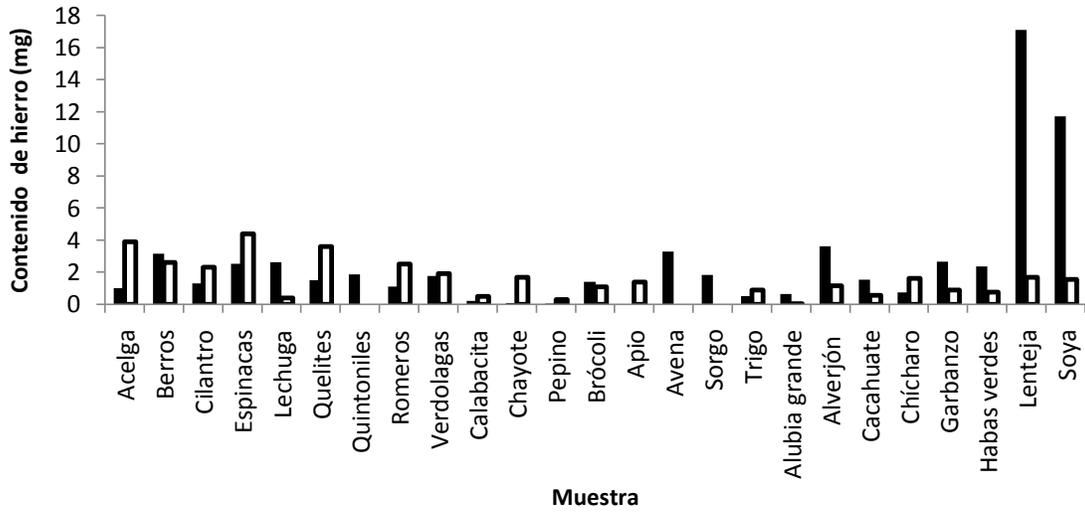


Gráfico 6. Comparación del contenido de hierro en 100 gramos de muestra fresca, experimental y FAO

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la realización de este trabajo experimental, se llevó a cabo un muestreo de criterio, considerando que de esta manera, se obtendrían las muestras de hortalizas que realmente se cultivan y son representativas de la región productora de la zona chinampera de Xochimilco y así se evitó una mayor alteración en los resultados, atribuidos a la forma de cultivo, la cual es tradicional, al tipo de suelo, insumos empleados, aguas de riego y demás factores que podrían alterar el contenido de hierro en la muestra.

El muestreo se realizó en el mercado de Xochimilco, en la zona de comercialización para los productores de la misma región y ahí se determinó cuales serían las muestras representativas para la realización del análisis, considerándose que las muestras debían de ser las de mayor producción y consumo.

Se comenzó por obtener el gráfico de absorción para el complejo ortofenantrolina-Fe(II) el cual presentó un máximo de absorción a una longitud de onda de 510 nm.

Para poder determinar la concentración de hierro en las diferentes muestras se realizó en varias ocasiones la obtención del gráfico de calibración, el cual presento una linealidad y estabilidad adecuada presentando un coeficiente de correlación de 0.09967, lo que nos permite emplear este método para otras muestras, tal es el caso para cereales y leguminosas las cuales no se cultivan en la zona chinampera de Xochimilco.

En la preparación de las muestras, para la obtención de cenizas, es de gran importancia tener cenizas blancas porque de esta manera se tienen muestras con la menor cantidad de materia orgánica posible, lo cual podría interferir en la determinación real del contenido de hierro, al presentar una matriz más compleja. Existieron muestras, en las que la obtención de cenizas se complicó debido a la composición química de la misma, es decir, la composición impedía una rápida calcinación, esto debido a la presencia de componentes como es el caso de fibra, en las muestras de cereales, proteínas en el caso de la soya y principalmente grasas para cacahuete.

Cuando se obtuvo las cenizas blancas, fue fundamental agregar ácido nítrico y clorhídrico con la finalidad de solubilizar los minerales, en este caso el hierro y poder ser determinado de manera correcta. Al agregar los ácidos y evaporarlos es un paso primordial realizar y mantener la evaporación agregando solución amortiguadora de acetatos de pH= 4.7, debido a que la formación del complejo se realiza en un sistema de pH controlado ya que de lo contrario no se forma el complejo y en este valor de pH la reacción es estable y cuantitativa.

Para la determinación de hierro, es de gran importancia el registro del peso de la muestra fresca, seca y la cantidad de cenizas, ya que al realizar los cálculos y gráficas correspondientes éstos datos son indispensables para poder determinar de manera veraz el contenido de hierro presente en la muestra tratada y por lo tanto en la muestra fresca.

Para presentar los resultados se realizó una clasificación de las muestras en hojas, frutos, flores, tallo, cereales y leguminosas, para poder desglosarlas y que de esta manera resultará más explícito (anexos).

En el caso de la obtención de cenizas se calculó en porcentaje y así poder comparar con los datos reportados por la FAO, Oficina regional para América Latina y el Caribe, con lo cual observamos muchas variaciones, tal es el caso para las muestras clasificadas en hojas, en tallo, en cereales y leguminosas, lo cual se puede atribuir a la metodología empleada ya que en la FAO no indican el parámetro empleado de temperatura y en el caso de éste trabajo experimental se realizó a 450°C.

Para la determinación y cuantificación de hierro se analizó cada muestra por triplicado, teniendo variaciones en los resultados atribuidos a errores del analista y considerando además que cualquier variación en el pH, modificaba la completa formación del complejo y por lo tanto las absorbancias, por lo que al calcular los coeficientes de variación se encontraron arriba del 3% para casi todas las muestras, excepto para los casos de espinacas, quintoniles, romeros, avena, sorgo, alubia grande y soya; pero como no se pretende validar el método no es necesario obtener un coeficiente de variación menor al 3% de tal manera que solamente se calculó la media y ésta se gráfico y se presentó en la sección de resultados.

Al calcular el porcentaje de hierro en 100 gramos de muestra fresca para cada una de las muestras, existieron discrepancias al comparar los resultados experimentales con datos reportados por la FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, esta

diferencia se aprecia claramente en los casos: acelga, cilantro, espinacas, lechuga, romeros, quelites, verdolagas, calabacita, chayote, pepino, apio, en todas las leguminosas y no esta reportado para los casos de quintoniles, cereales y habas verdes. Estas diferencias se pueden atribuir a la manera en que se determina el porcentaje de hierro por la FAO ya que no indican el método empleado, aunque el método oficial es el descrito en AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, el cual fue utilizado para la determinación experimental. Y además es importante mencionar, que se puede atribuir estas diferencias a la región en que están cultivadas las muestras, ya que el contenido de hierro de cada una, esta directamente relacionada con el lugar y forma de cultivo, ya que las plantas absorben los nutrientes de la tierra y de los insumos empleados para su cultivo. La FAO maneja una base de datos en la que indica el contenido de hierro (sin intervalo) solo valores puntuales, clasificando únicamente por la región de la muestra, en este caso clasifican por país solamente, por lo que la variación existente en el lugar y forma de cultivo son factores causales de cada una de las diferencias entre el trabajo experimental y lo reportado en la bibliografía.

Además existen valores no reportados por la FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, a pesar de que hay un apartado para alimentos nativos, estas discrepancias se pueden atribuir a los regionalismos, a los usos y costumbres de los habitantes, en específico la zona chinampera de Xochimilco, considerando que para esta región hay alimentos conocidos de manera tradicional, tal es el caso de quelites, ya que en esta zona se definen y conocen como una hortaliza en específico, con morfología y sabor característico y para otras regiones y/o estudios se designan a los quelites *Chenopodium* spp. como parte importante del grupo de plantas silvestres, arvenses y ruderales, se definen

como “plantas tiernas comestibles”. El término quelites incluye hierbas anuales tiernas así como flores, inflorescencias y brotes de algunas especies perennes. Entonces estas variaciones de terminología pueden dar pauta a diferencias desde la selección de la muestra y por lo tanto en su análisis y determinación de hierro en la misma.

La cantidad de cenizas obtenidas, esta directamente relacionada con el contenido de hierro en la muestra fresca, así que al realizar los cálculos correspondientes y compararlos con la FAO, éstos resultaron distintos; como ya se mencionó las diferencias pueden ser causadas por la recolección de las muestras, la obtención de cenizas o la metodología empleada.

Al realizar los cálculos y gráficos correspondientes se presentó un contenido de hierro mg/100 g de muestra fresca en un intervalo desde no detectable para apio hasta 17.1140 mg/100 g de muestra de lentejas. Es importante mencionar que al realizar el análisis para la muestra de apio no se logró la formación del complejo colorido en un intervalo detectable por el equipo; en primera estancia se atribuyó al pH, se pensó que no se encontraba en el rango establecido de $\text{pH}=4.7$ pero al revisarlo con el potenciómetro se verificó si se encontraba en el valor de $\text{pH}=4.7$, por lo que se decidió prolongar el tiempo de espera para la formación del complejo (24 horas) pero aún así no se logró la determinación en el espectrofotómetro Perkin Elmer Hitachi 200, por lo que se decidió, realizar el análisis nuevamente, utilizando los mismos reactivos, pensando en la existencia de un error del analista al preparar la muestra, pero aún así no se detectó; se realizó un nuevo análisis cambiando la disolución de clorhidrato de hidroxilamina, pensando que no se estaba reduciendo adecuadamente el hierro férrico y por lo tanto no reaccionaba con la ortofenantrolina, pero aún así no se logró detectar con el equipo, así que se maneja la muestra como no detectable.

8. CONCLUSIONES

Se realizó este trabajo experimental debido a la gran preocupación existente causada por la principal deficiencia de hierro que es la anemia, en zonas rurales como es el caso de la zona chinampera de Xochimilco, considerando que su alimentación se fundamenta en el consumo de los productos que ellos cultivan, tal es el caso de las hortalizas, por lo que es necesario conocer y determinar el contenido de hierro en éstos alimentos.

Con la formación de un complejo colorido, el cual se realiza entre hierro y la ortofenantrolina, se puede determinar mediante un método espectrofotométrico, la concentración de hierro en diferentes muestras de hortalizas, cereales y leguminosas y de esta manera poder establecer la cantidad de hierro aportado por cada una de las muestras tratadas en 100 gramos de muestra fresca.

La obtención de cenizas blancas a 450°C es fundamental ya que de esta manera, se asegura la completa eliminación de materia orgánica en las muestras para que con esto se encuentren los minerales libres, en este caso el hierro, de la matriz compleja formada por el alimento.

La adición de ácido clorhídrico y nítrico es fundamental para solubilizar los minerales, en este caso el hierro, aunque en ésta adición influye en el pH de la muestra acondicionada, por esta razón es importante la evaporación de los ácidos con la adición de disolución amortiguadora de acetatos de pH=4.7 para mantener el sistema de pH adecuado

y favorecer la formación del complejo ya que en este valor de pH la reacción es estable y cuantitativa.

Es de suma importancia la adecuada reducción del hierro férrico con la adición del clorhidrato de hidroxilamina para permitir la reacción y formación del complejo con la ortofenantrolina para poder determinar y cuantificar el hierro (II) con la utilización de la espectroscopia visible.

El complejo ortofenantrolina-Fe(II) presentó un máximo de absorción a una longitud de onda de 510 nm.

Existen variaciones entre las referencias reportadas en la FAO y las obtenidas en el presente trabajo experimental, en ciertas muestras analizadas referentes al contenido de hierro, causadas en primer lugar por la definición de los alimentos analizados. Tal es el caso de los quelites, ya que en la zona chinampera de Xochimilco se definen como una planta con morfología definida, mientras que hay reporte en los que indican que se trata de un grupo de hierbas tiernas anuales que incluyen flores, inflorescencias y brotes de algunas especies perennes, lo cual influye de manera directa con el tipo de muestra analizada.

Existen diferencias en el porcentaje de cenizas obtenidas experimentalmente con respecto a las reportadas en las tablas de la FAO, debido a la forma en que se generaron las cenizas lo que puede resultar crítico para la cuantificación del hierro.

Es fundamental el lugar y la forma de cultivo de cada una de las muestras analizadas, ya que la planta absorbe los nutrientes, en este caso el hierro, de la tierra, de los insumos y del agua empleada para su cultivo y los reportes de la FAO indican solamente el país de origen y en este trabajo experimental se delimitó el muestreo a una zona geográfica en específico, la cual fue la zona chinampera de Xochimilco.

El gráfico de calibración para el complejo ortofenatrolina-Fe(II) presentó una linealidad y estabilidad adecuada por lo que se extendió el trabajo experimental a otras muestras que no se cultivan en la zona chinampera de Xochimilco, como es el caso de los cereales y algunas leguminosas, pero que influyen de manera directa en la alimentación de la región. Presentando el contenido de hierro en mg/100g de muestras fresca para los alimentos de la siguiente manera: acelga 1.0261 mg, apio no detectable, berros 3.1641 mg, brócoli 1.4169 mg, calabacitas 0.2247 mg, cilantro 1.3328 mg, chayote 0.1083 mg, espinacas 2.5419 mg, lechuga 2.6429 mg, pepino 0.0763 mg, quelites 1.5195 mg, quintoniles 1.8926 mg, romeros 1.1068 mg, verdolagas 1.7848 mg, alubia grande 0.6748 mg, alverjón 3.6287 mg, avena 3.2874 mg, cacahuete 1.5389 mg, garbanzo 2.6893 mg, lenteja 17.1140 mg, soya 11.7358 mg, sorgo 1.8593 mg, trigo 0.5427 mg, chícharo 0.7678 mg, haba verde 2.3656 mg.

Con la realización de este trabajo experimental, se puede indicar que, considerando únicamente el consumo de las muestras analizadas, que la ingesta diaria recomendada para hierro en infantes, en promedio es de 10 mg/día y para adultos hombres de 8 mg/día y adultos mujeres es de 18 mg/día, los alimentos que se analizaron en promedio presentan un porcentaje de hierro por debajo a estos índices, excepto lentejas con 17.1140 mg/100g

muestra fresca y soya con 11.7358 mg/100g muestra, por lo que se requiere y es fundamental que la población de la zona chinampera de Xochimilco complemente su alimentación con otros productos alimenticios, como sería el caso de alimentos fortificados y carne o derivados.

Resulta de gran importancia darle continuidad a este trabajo experimental ya que es un factor fundamental de variación el lugar y la forma de cultivo de las muestras analizadas, extendiendo el muestreo a otros alimentos y regiones para que de esta manera se pueda determinar la influencia de diversos factores que hacen que varíe el contenido de hierro según la región y la utilización de insumos para su cultivo y para que se amplíe la información y darlas a conocer a la población en general.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Pellerano R; Ortega P; Vazquez F y Molina A; “Especiación de hierro utilizando técnicas de espectrofotometría en fase sólida y análisis en flujo continuo”. Revista Ciencia y Tecnia, UNNE, 2002/08.
2. Olivares M y Walter T. “Causas y consecuencias de la deficiencia de hierro”. Revista Chilena de Nutrición, 17: (No. 1). 2004.
3. Hernán Daza Carlos. “Malnutrición de micronutrientes. Estrategias de prevención y control”. Colombia Medica año/vol. 32: (No. 002), 2001.
4. Organización Panamericana de la Salud. “Conocimientos actuales de nutrición”. 8ª edición. Editorial Panamericana Health Org. 2003
5. Ganong W. “Fisiología Médica”. 13ª edición. Editorial El Manual Moderno S.A, de C.V., México, 1992.
6. Pizarro F; Olivares M y Kain J. “Hierro y zinc en la dieta de la población de Santiago”. Revista Chilena de Nutrición, 32: (No. 1), abril 2005.
7. Olivares M y Walter T. “Consecuencias de la deficiencia de hierro”. Revista Chilena de Nutrición, 30: (No. 2), diciembre 2003.
8. Linder, MC. “Nutrition and metabolism of the trace elements”. Linder, M.C. editors. Nutricional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications. Appleton & Lange; 1991; pp. 216-270.
9. International Food Information Council. www.ific.org
10. Trumbo P.; Yates AA.; Schlicker S.; Poos M. “Dietary reference intakes: vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese,

- molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*". Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, The National Academies, Washington, DC. J Am Diet Assoc. Mar;101(3):294-301, 2001.
11. Centro Internacional de información sobre seguridad y salud en el trabajo (CIS). Módulos de formación en seguridad química. www.oit.org
 12. "*Diccionario de nutrición y tecnología de los alimentos*". Bender, A. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España 1994.
 13. "*La ciencia de los alimentos de la A a la Z*". Adrián J.; Frangne R. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España 1990.
 14. Harris D., "*Análisis Químico Cuantitativo*", 3ª edición., Ed. Reverté., España 2006.
 15. Skoog D.; Leary J.; Holler J. "*Principios de análisis instrumental*". 5ª edición., Editorial McGraw-Hill., México 1998.
 16. Schenk, G., Hahn, R. y Hartkupf, A. "*Química Analítica Cuantitativa; Principios y aplicaciones a las ciencias de la vida*". Editorial CECSA., México 1984.
 17. Underwood A.; Day R. "*Química Analítica Cuantitativa*", 5ª Edición., Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana., México 1989.
 18. Skoog D.; West D.; Hooller J., "*Fundamentos de Química Analítica*", 8ª edición., Internacional Thomson Editores., México 2005.
 19. Fennema R., "*Química de los Alimentos*", 2ª edición., Editorial Acribia., Zaragoza España.
 20. FAO. Oficina regional para América Latina y el Caribe. www.rlc.fao.org
 21. Harnett, D.; Murphy, J., "*Introducción al Análisis Estadístico*". Editorial Addison-Wesley Iberoamericana., México 1987.

22. *Diccionario de enfermedades, medicina y términos médicos.* www.ujcm.edu.pe
23. www.healthsystem.virginia.edu/
24. Ministerio de agricultura y ganadería del Ecuador. www.sica.gov.ec

10. ANEXOS

10.1 Preparación de disoluciones

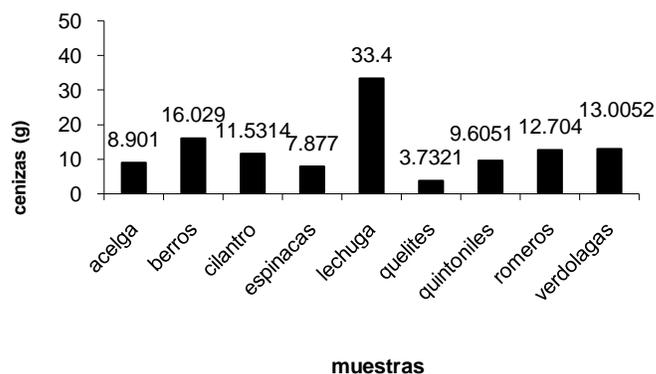
- Ortofenantrolina al 1%, pesar 100 mg de clorhidrato de ortofenantrolina, colocar en un matraz y disolver con agua destilada, transvasar a un matraz aforado de 100 mL y aforar a la marca.
- Disolución estándar de hierro cuya concentración sea de 10 ppm en Fe^{3+} , pesar 48.27 mg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ disolver y aforar a 1 litro con agua destilada.
- Disolución de clorhidrato de hidroxilamina al 1%, pesar 100 mg de clorhidrato de hidroxilamina, colocar en un matraz aforado de 100 ml y aforar a la marca con agua destilada.
- Disolución amortiguadora de acetatos de pH 4.7 y concentración analítica 0.1 M, pesar 1.59 gramos de acetato de sodio se disuelven en aproximadamente 100 mL de agua destilada, agregar 1.8 mL de ácido acético, colocar ambas disoluciones en un matraz aforado de 500 mL y aforar a la marca con agua destilada.

10.2 Obtención de cenizas y comparación con los datos registrados por la FAO, por clasificación de muestras.

- **HOJAS**

Hojas	g cenizas
Acelga	8.9010
Berros	16.0290
Cilantro	11.5314
Espinacas	7.8770
Lechuga	33.4000
Quelites	3.7321
Quintoniles	9.6051
Romeros	12.7040
Verdolagas	13.0052

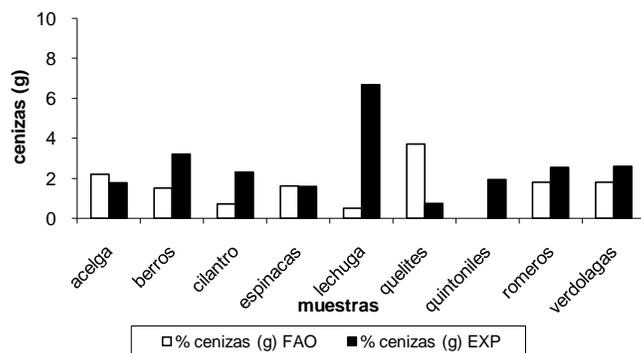
Tabla 1. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 1. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Hojas	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Acelga	2.2	1.7802
Berros	1.5	3.2058
Cilantro	0.7	2.3063
Espinacas	1.6	1.5754
Lechuga	0.5	6.6800
Quelites	3.7	0.7464
Quintoniles	No reportado	1.9210
Romeros	1.8	2.5408
Verdolagas	1.8	2.6010

Tabla 2. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.



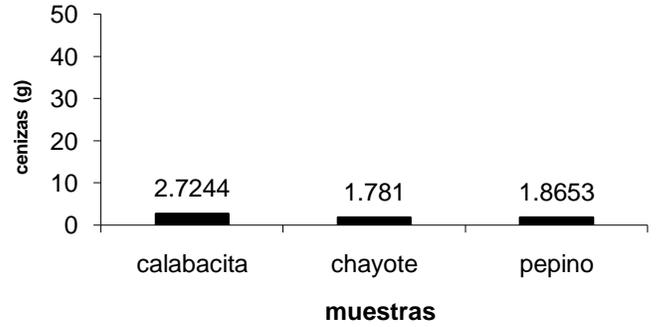
Gráfica 2. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO.

Nota: no reportado por la FAO para quintoniles

- FRUTOS**

Frutos	g cenizas
Calabacita	2.7244
Chayote	1.781
Pepino	1.8653

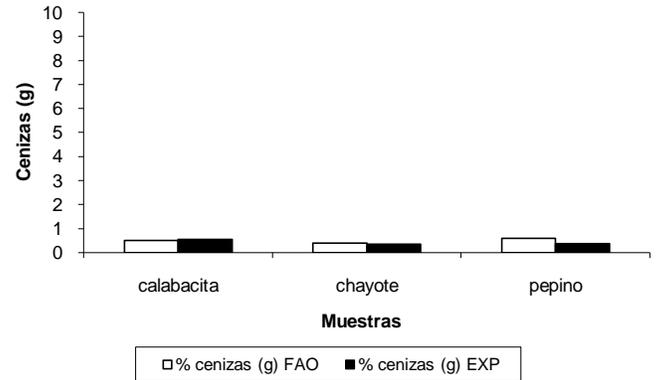
Tabla 3. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 3. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Frutos	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Calabacita	0.5	0.54488
Chayote	0.4	0.3562
Pepino	0.6	0.37306

Tabla 4. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.

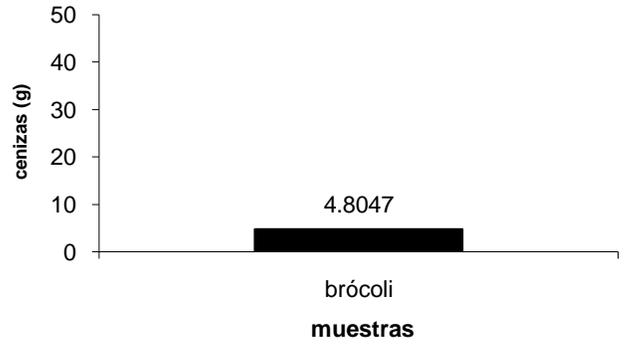


Gráfica 4. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO (frutos).

- FLORES**

Flores	g cenizas
Brócoli	4.8047

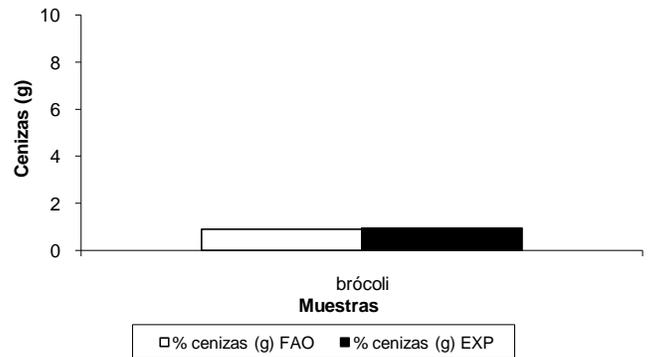
Tabla 5. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 5. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Flores	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Brócoli	0.9	0.96094

Tabla 6. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.

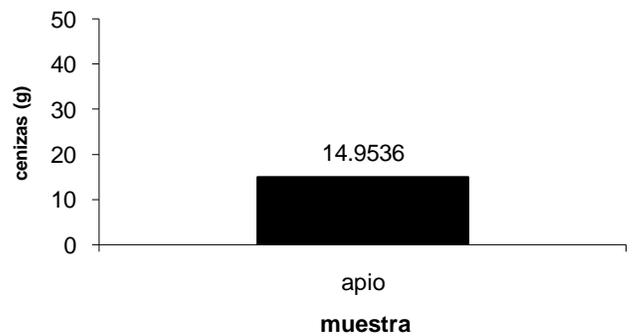


Gráfica 6. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO.

- TALLO**

Tallo	g cenizas
Apio	14.9536

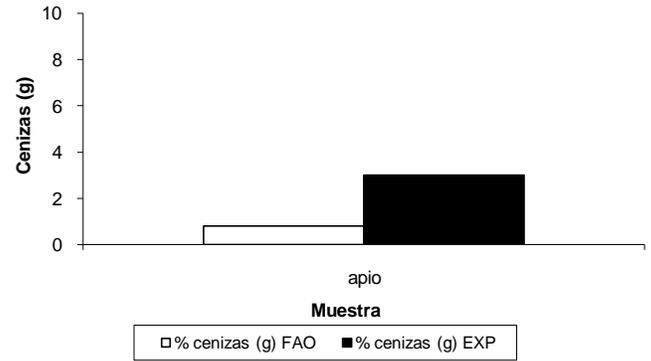
Tabla 7. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 7. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Tallo	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Apio	0.8	2.99072

Tabla 8. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.



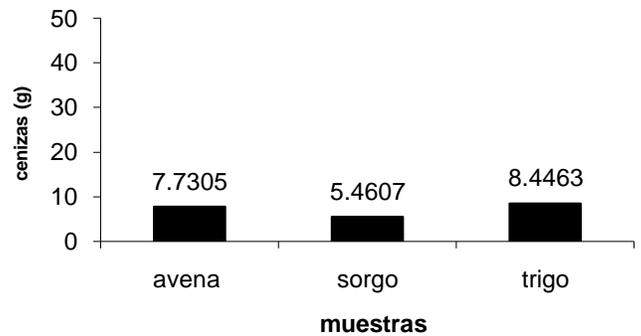
Gráfica 8. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO.

• SEMILLAS

▪ CEREALES

Cereales	g cenizas
Avena	7.7305
Sorgo	5.4607
Trigo	8.4463

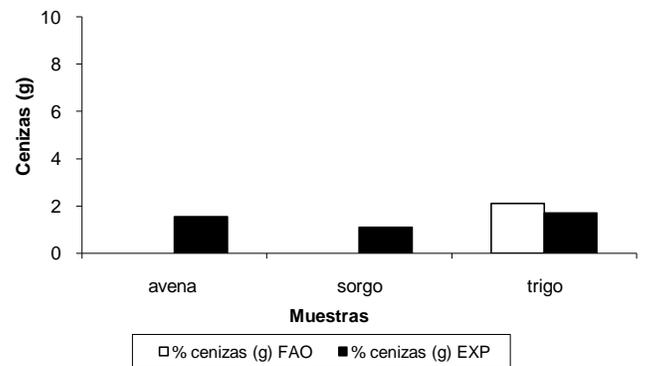
Tabla 9. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 9. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Cereales	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Avena	No reportado	1.5461
Sorgo	No reportado	1.09214
Trigo	2.1	1.68926

Tabla 10. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.



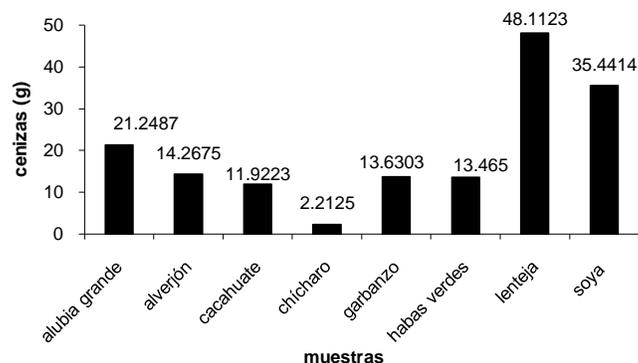
Gráfica 10. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO.

Nota: no reportado por la FAO para avena y sorgo

• **LEGUMINOSAS**

Leguminosas	g cenizas
Alubia grande	21.2487
Alverjón	14.2675
Cacahuete	11.9223
Chícharo	2.2125
Garbanzo	13.6303
Habas verdes	13.465
Lenteja	48.1123
Soya	35.4414

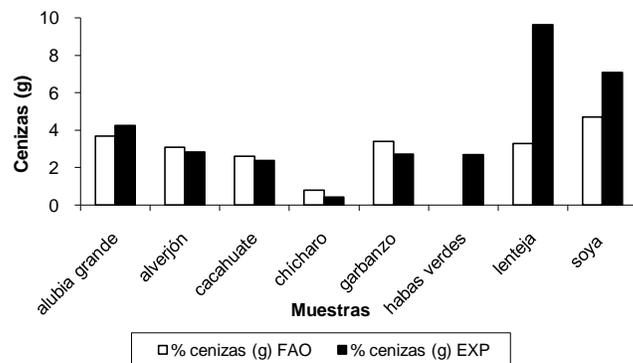
Tabla 11. Datos de cenizas obtenidas a partir de 500 gramos de muestra fresca.



Gráfica 11. Cenizas obtenidas en 500 g de muestra fresca.

Leguminosas	% cenizas (g) FAO	% cenizas (g) EXP
Alubia grande	3.7	4.2497
Alverjón	3.1	2.8535
Cacahuete	2.6	2.3845
Chícharo	0.8	0.4425
Garbanzo	3.4	2.7261
Habas verdes	No reportado	2.6930
Lenteja	3.3	9.6225
Soya	4.7	7.0883

Tabla 12. Porcentaje de cenizas experimental y FAO.



Gráfica 12. Comparativo de porcentaje de cenizas experimental y FAO.

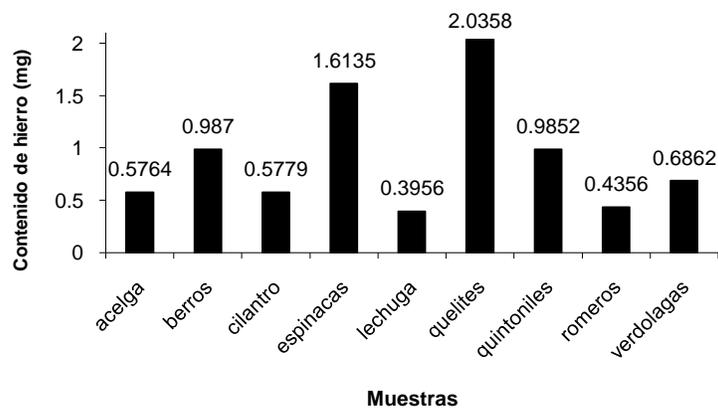
Nota: no reportado por la FAO para habas verdes

10.3 Contenido de hierro (mg) en un gramo de ceniza, por clasificación de muestras.

- **HOJAS**

Hojas	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Acelga	0.1023	0.150	0.5971	0.5764	±0.0181	3.1435
	0.1008	0.140	0.5634			
	0.1006	0.141	0.5688			
Berros	0.1008	0.215	0.8830	0.9870	±0.0902	9.1364
	0.1047	0.260	1.0347			
	0.1059	0.265	1.0433			
Cilantro	0.1014	0.152	0.6109	0.5779	±0.0587	10.1576
	0.1032	0.155	0.6127			
	0.1029	0.130	0.5101			
Espinacas	0.1015	0.366	1.6675	1.6135	±0.0468	2.8996
	0.1103	0.378	1.5859			
	0.1123	0.385	1.5871			
Lechuga	0.1028	0.107	0.4145	0.3956	±0.0186	4.6972
	0.1004	0.096	0.3774			
	0.1133	0.112	0.3951			
Quelites	0.1019	0.396	1.8001	2.0358	±0.2041	10.0278
	0.1008	0.468	2.1572			
	0.1007	0.466	2.1500			
Quintoniles	0.1023	0.248	1.0086	0.9852	±0.0204	2.0696
	0.1005	0.235	0.9711			
	0.1066	0.250	0.9760			
Romerros	0.1067	0.115	0.4316	0.4356	±0.0080	1.8454
	0.1020	0.110	0.4449			
	0.1122	0.124	0.6630			
Verdolagas	0.1297	0.208	0.6733	0.6862	±0.0316	4.6042
	0.1290	0.210	0.7222			
	0.1399	0.243	0.6372			

Tabla 1. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

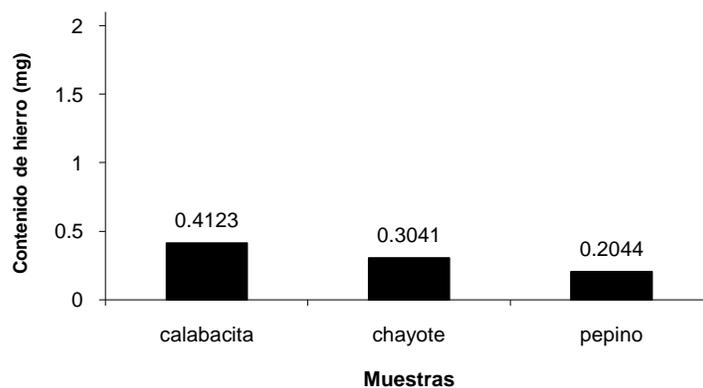


Gráfica 1. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

• FRUTOS

Frutos	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Calabacita	0.1062	0.119	0.4498	0.4123	±0.0441	10.7059
	0.1006	0.107	0.4236			
	0.1030	0.095	0.3637			
Chayote	0.1015	0.088	0.3394	0.3041	±0.0345	11.3550
	0.1004	0.071	0.2704			
	0.1025	0.080	0.3026			
Pepino	0.1020	0.058	0.2114	0.2044	±0.0209	10.2243
	0.1015	0.060	0.2209			
	0.1002	0.050	0.1809			

Tabla 2. Contenido de hierro en un gramo de ceniza (frutos).

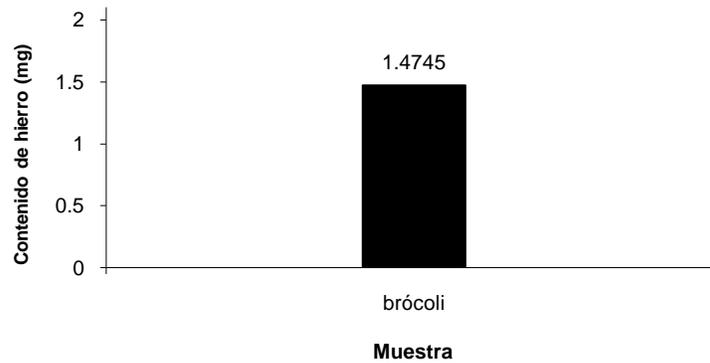


Gráfica 2. Contenido de hierro en un gramo de ceniza (frutos)

- **FLORES**

Flores	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Brócoli	0.1017	0.348	1.4369	1.4745	±0.0503	3.4134
	0.1028	0.356	1.4550			
	0.1041	0.379	1.5317			

Tabla 3. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

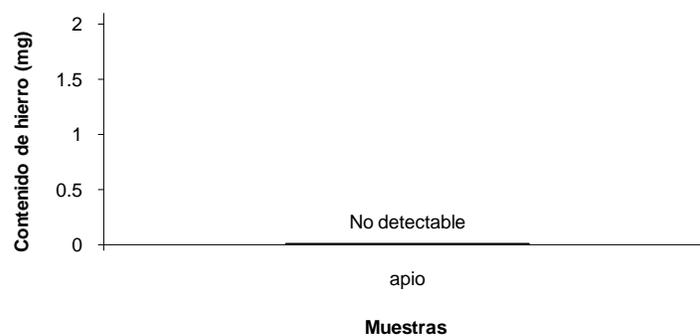


Gráfica 3. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

- **TALLO**

Tallo	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Apio	0.1253	0.017	No detectable	No calculable	No calculable	No calculable
	0.1030	0.011	No detectable			
	0.1020	0.008	No detectable			

Tabla 4. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.



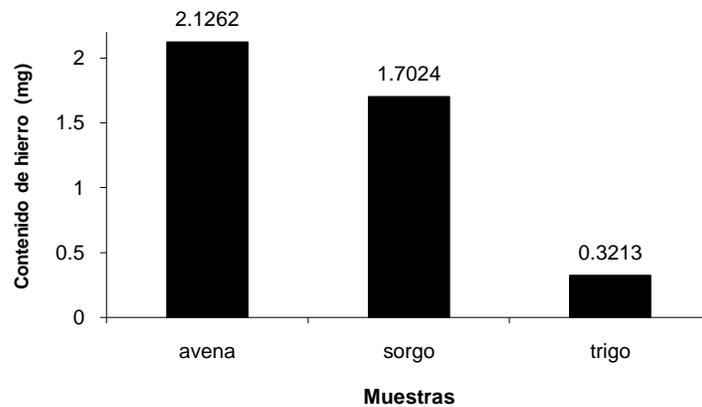
Gráfica 4. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.
 ND: no detectable

- **SEMILLAS**

- **CEREALES**

Cereales	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Avena	0.1014	0.504	2.1020	2.1262	±0.0210	1.9898
	0.1018	0.515	2.1402			
	0.1066	0.538	2.1365			
Sorgo	0.1004	0.402	1.6866	1.7024	±0.0147	0.8660
	0.1017	0.414	1.7157			
	0.0983	0.398	1.7051			
Trigo	0.1042	0.089	0.3347	0.3213	±0.0256	7.9707
	0.1123	0.096	0.3374			
	0.1063	0.080	0.2918			

Tabla 5. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

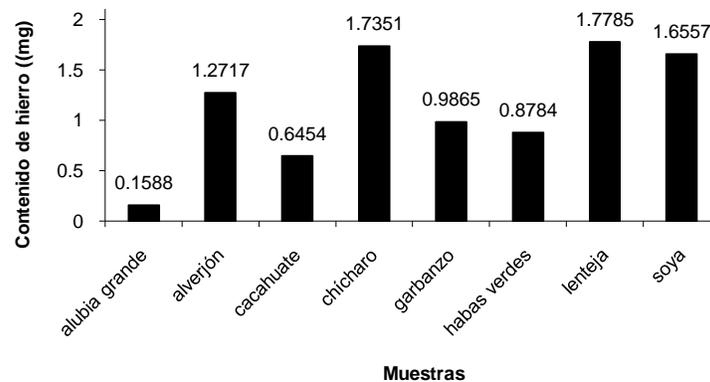


Gráfica 5. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

▪ **LEGUMINOSAS**

Leguminosas	Cenizas utilizadas(g)	Absorbancia	mg Fe en 1g ceniza	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Alubia grande	0.1010	0.045	0.1582	0.1588	±0.0006	0.3475
	0.1030	0.046	0.1593			
	0.1060	0.047	0.1589			
Alverjón	0.1040	0.306	1.2317	1.2717	±0.0407	3.2019
	0.1162	0.363	1.3131			
	0.1049	0.318	1.2702			
Cacahuete	0.1017	0.160	0.6429	0.6454	±0.0356	5.5101
	0.1372	0.203	0.6111			
	0.1500	0.246	0.6821			
Chícharo	0.1001	0.441	1.8590	1.7351	±0.1142	6.5846
	0.1034	0.420	1.7124			
	0.1039	0.403	1.6339			
Garbanzo	0.1223	0.281	0.9596	0.9865	±0.0421	4.2683
	0.1274	0.294	0.9650			
	0.1084	0.269	1.0350			
Habas Verdes	0.1015	0.207	0.8430	0.8784	±0.0316	3.5953
	0.1137	0.243	0.8886			
	0.1156	0.251	0.9037			
Lenteja	0.1006	0.409	1.7131	1.7785	±0.0847	4.7645
	0.1002	0.445	1.8743			
	0.1057	0.438	1.7483			
Soya	0.1072	0.425	1.6717	1.6557	±0.0277	1.6722
	0.1031	0.409	1.6715			
	0.1027	0.396	1.6237			

Tabla 6. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.



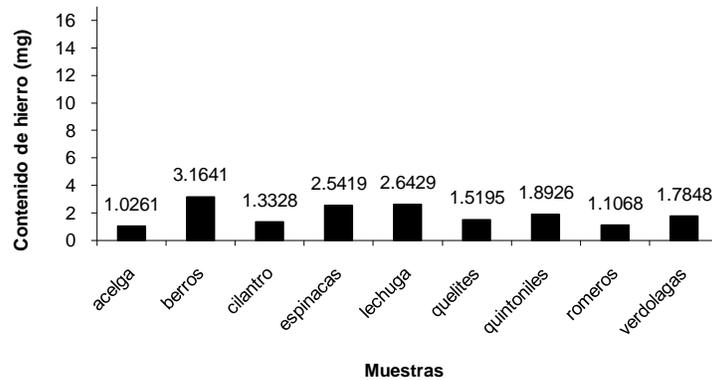
Gráfica 6. Contenido de hierro en un gramo de ceniza.

10.4 Contenido de hierro mg/ 100 gramos de muestra fresca y comparación con los datos registrados por la FAO, por clasificación de muestras.

- HOJAS**

Hojas	mg de Fe en 100 g de muestra	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Acelga	1.0629	1.0261	±0.0322	3.1409
	1.0029			
	1.0125			
Berros	2.8306	3.1641	±0.2891	9.1367
	3.3170			
	3.3445			
Cilantro	1.4088	1.3328	±0.1353	10.1554
	1.4130			
	1.1765			
Espinacas	2.6270	2.5419	±0.0737	2.8996
	2.7984			
	2.5003			
Lechuga	2.7689	2.6429	±0.1241	4.6974
	2.5207			
	2.6390			
Quelites	1.3436	1.5195	±0.1524	10.0285
	1.6102			
	1.6048			
Quintoniles	1.9375	1.8926	±0.0392	2.0692
	1.8655			
	1.8748			
Romeros	1.0965	1.1068	±0.0204	1.8464
	1.0935			
	1.1303			
Verdolagas	1.7246	1.7848	±0.0822	4.6045
	1.7513			
	1.8784			

Tabla 1. Contenido de hierro en 100 g de muestra.



Gráfica 1. Contenido de hierro en 100 g de muestra.

Hojas	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
acelga	3.9	1.0261
berros	2.6	3.1641
cilantro	2.3	1.3328
espinacas	4.4	2.5419
lechuga	0.4	2.6429
quelites	3.6	1.5195
quintoniles	No reportado	1.8926
romeros	2.5	1.1068
verdolagas	1.9	1.7848

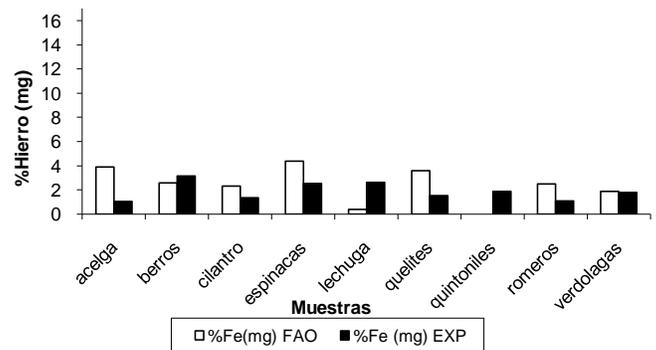


Tabla 2. Porcentaje de hierro experimental y FAO.

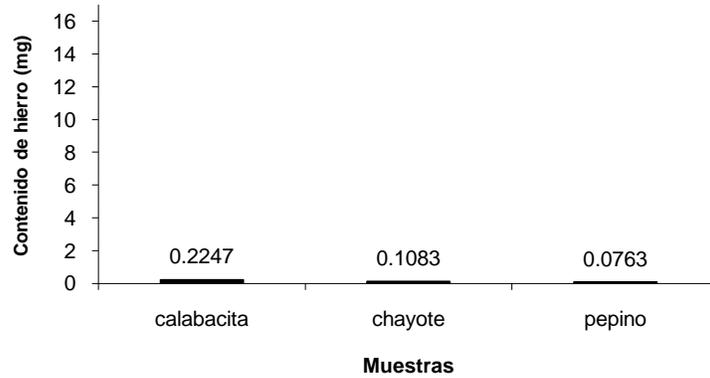
Gráfica 2. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.

Nota: no reportado por la FAO para quintoniles

• **FRUTOS**

Frutos	mg Fe en 100 g muestra	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Calabacita	0.2451	0.2247	±0.0240	10.6977
	0.2308			
	0.1982			
Chayote	0.1209	0.1083	±0.0123	11.3618
	0.0963			
	0.1078			
Pepino	0.0789	0.0763	±0.0078	10.2158
	0.0824			
	0.0675			

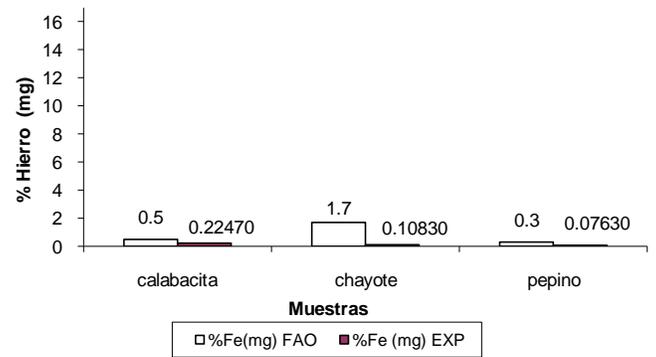
Tabla 3. Contenido de hierro en 100 g de muestra.



Gráfica 3. Contenido de hierro en 100 g de muestra.

Frutos	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
calabacita	0.5	0.2247
chayote	1.7	0.1083
pepino	0.3	0.0763

Tabla 4. Porcentaje de hierro experimental y FAO.

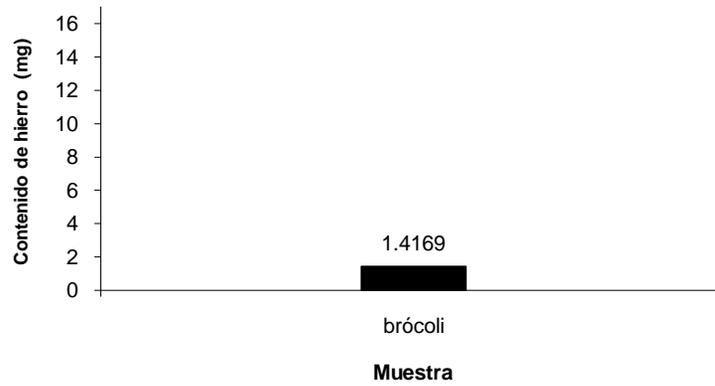


Gráfica 4. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.

● **FLORES**

Flores	mg Fe en 100 g muestra	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Brócoli	1.3808	1.4169	±0.0484	3.4146
	1.3981			
	1.4719			

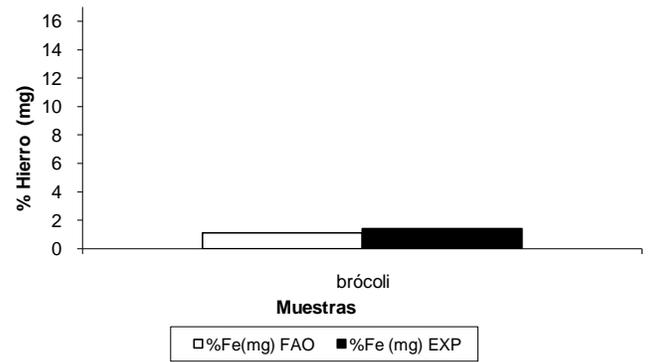
Tabla 5. Contenido de hierro en 100 g de muestra.



Gráfica 5. Contenido de hierro en 100 g de muestra.

Flores	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
brócoli	1.1	1.4169

Tabla 6. Porcentaje de hierro experimental y FAO.



Gráfica 6. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.

• **TALLO**

Tallo	mg Fe en 100 g muestra	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Apio	No detectable	No calculable	No calculable	No calculable
	No detectable			
	No detectable			

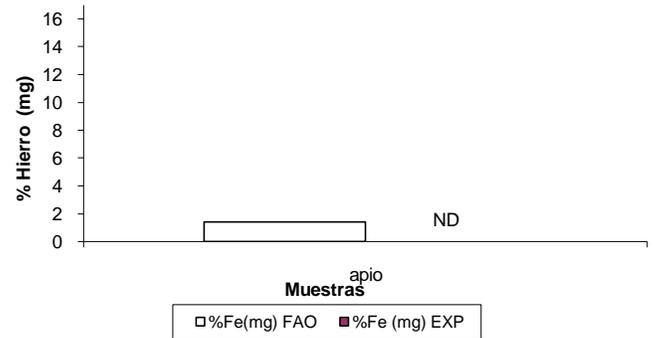
Tabla 7. Contenido de hierro en 100 g de muestra (tallo).



Gráfica 7. Contenido de hierro en 100 g de muestra (tallo).
 ND: no detectable

Tallo	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
apio	1.4	ND

Tabla 8. Porcentaje de hierro experimental y FAO.



Gráfica 8. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.

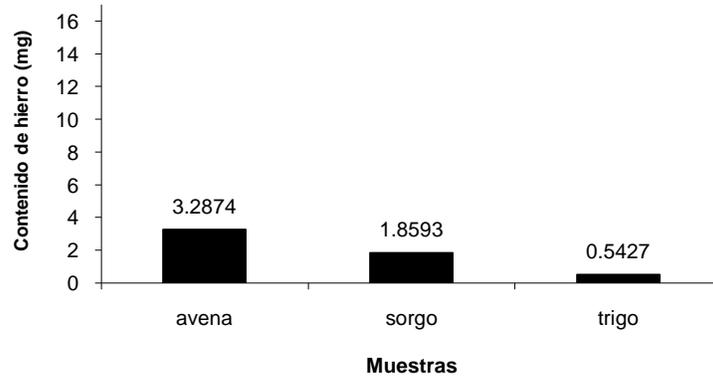
ND: no detectable

- **SEMILLAS**

- **CEREALES**

Cereales	mg Fe en 100 g muestra	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Avena	3.2499	3.2874	±0.0325	0.9900
	3.3089			
	3.3032			
Sorgo	1.8420	1.8593	±0.0161	0.8655
	1.8738			
	1.8622			
Trigo	0.5655	0.5427	±0.0432	7.9669
	0.5699			
	0.4929			

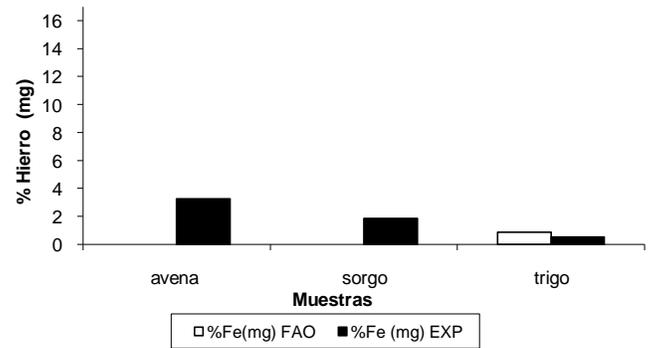
Tabla 9. Contenido de hierro en 100 g de muestra.



Gráfica 9. Contenido de hierro en 100 g de muestra.

Cereales	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
avena	No reportado	3.2874
sorgo	No reportado	1.8593
trigo	0.9	0.5427

Tabla 10. Porcentaje de Fe³⁺ experimental y FAO.



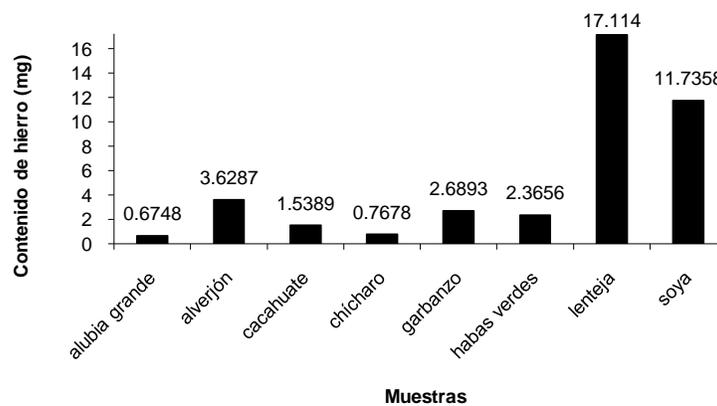
Gráfica 10. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.

Nota: no reportado por la FAO para avena y sorgo

▪ **LEGUMINOSAS**

Leguminosas	mg Fe en 100 g muestra	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Alubia grande	0.6724	0.6748	±0.0023	0.3425
	0.6770			
	0.6751			
Alverjón	3.5145	3.6287	±0.1162	3.2024
	3.7468			
	3.6246			
Cacahuete	1.5329	1.5389	±0.0848	5.5110
	1.4572			
	1.6265			
Chícharo	0.8226	0.7678	±0.0506	6.5850
	0.7577			
	0.7230			
Garbanzo	2.6158	2.6893	±0.1148	4.2682
	2.6306			
	2.8216			
Habas verdes	2.2703	2.3656	±0.0850	3.5950
	2.3929			
	2.4337			
Lenteja	16.4841	17.1140	±0.8154	4.7646
	18.0350			
	16.8228			
Soya	11.8497	11.7358	±0.1963	1.6724
	11.8484			
	10.5091			

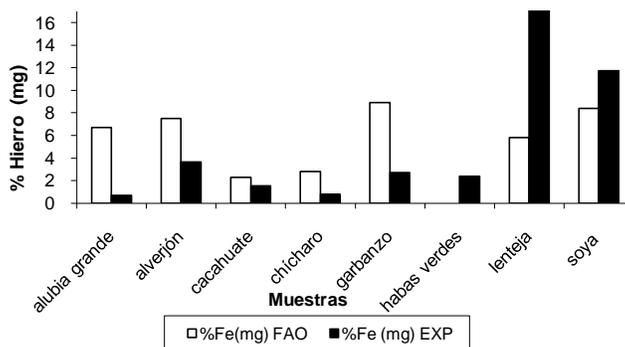
Tabla 11. Contenido de hierro en 100 g de muestra.



Gráfica 11. Contenido de hierro en 100 g de muestra.

Leguminosas	%Fe(mg) FAO	%Fe (mg) EXP
Alubia grande	6.7	0.6748
Alverjón	7.5	3.6287
Cacahuete	2.3	1.5389
Chícharo	2.8	0.7678
Garbanzo	8.9	2.6893
Habas verdes	No reportado	2.3656
Lenteja	5.8	17.1140
Soya	8.4	11.7358

Tabla 12. Porcentaje de hierro experimental y FAO.



Gráfica 12. Comparativo de porcentaje de hierro experimental y FAO.
 Nota: no reportado por la FAO para habas verdes