



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

CUANTIFICACIÓN DE METALES TRAZA EN CAFÉ DE
GRANO DE ORIGEN MEXICANO POR
ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A :
CINTHYA MAGEL CATRO CARRASCO



MÉXICO, D.F.

2005

m. 345066



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.

Dedicado

A María del Socorro Carrasco Esquivel (†)

*¿Cómo puede ser ausencia
una ausencia en que la muerte
me priva de verte
pero no de tu presencia?*

Elías Nandino, "Décimas a mi madre".

A Beatriz Espinosa Alonso

*Por que tuve la fortuna de tener dos mamás y una gran abuelita. Mil gracias por tu
amor, cuidados, consejos, valores, paciencia y enseñanzas.*

A Rubén Castro Espinosa

*A pesar de que la distancia y las situaciones no han sido las óptimas para nuestra
convivencia, siempre estás conmigo.*

Adriana Castro, Rubén Castro y Gabriela Rodríguez

Por todas las veces que hemos reído, enojado y llorado juntos.

*Por último y no por eso menos importante a Angel Islas Castro por todo tu amor, gran
paciencia, por tu apoyo en los momentos difíciles, porque siempre que lo necesito estás
ahí, a mi lado incondicionalmente, regalándome una sonrisa, una palabra de aliento, un
abrazo, un beso...*

Agradecimientos

A la H. Universidad Nacional Autónoma de México y Facultad de Química porque en ellas encontré y pude hacer una senda en la que puedo andar y llegar hasta dónde la vida me alcance.

A la Dra. Liliانا Saldívar por la oportunidad, confianza y apoyo que me brindó al realizar este trabajo.

A la Q. Nadia Munguía por los consejos, enseñanzas, apoyo y calidez, sin tu ayuda éste trabajo no se hubiera concluido.

A todas las personas que laboran en el Laboratorio 103 que de alguna forma intervinieron y ayudaron a concluir este trabajo.

A Armando Jiménez, Beatriz González Berenice Ovando, Irma Hernández, Jacobo Vargas, Javier Monroy, Manuel Lorenzo y Yuritzia Miranda por su amistad, complicidad y porras. Ha sido una fortuna poder convivir y vivir la carrera con ustedes.

A Adriana Méndez, Alma Gutiérrez, Anahí Soria, Belinda Alegria, Carlos Catana, Carlos Lugo, Claudia Rico, Jazmín Osorio, Juan Peña, Norma Pérez y Roberto Razo que me han ofrecido su amistad y hospitalidad siempre.

A todas las personas que me he encontrado en el camino, que me han enseñado una parte de la vida y una parte de mí.

A Lloyd Mexicano, S de .R L. de C.V. por las facilidades y permisos concedidos para poder realizar los trámites y concluir esta etapa de mi vida.

Índice

	Página
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Generalidades	4
3.1 Café Mexicano	4
3.1.1 Historia	4
3.1.2 Información General	5
3.1.3 Industrialización y Normatividad del Café	14
3.1.4 Producción y Normatividad del Café Orgánico	19
3.1.5 Producción y Exportación de Café en México	22
3.2 Importancia Nutricional y Toxicológica de los Elementos Inorgánicos	26
3.2.1 Cinc	30
3.2.2 Cobre	34
3.2.3 Hierro	38
3.2.4 Magnesio	44
3.2.5 Manganeso	48
3.3 Cafeína	51
4 Espectroscopía de Absorción Atómica	53
5 Metodología experimental	61
5.1 Experimentos Previos	61
5.1.1 Lixiviación ácida y lixiviación con agua caliente	61
5.2 Desarrollo de la metodología	65
5.2.1 Concentración de la bebida de café y uso de nebulizador de alta eficiencia	65
5.2.2 Límites de Detección (LDD) y Límites de Cuantificación (LDC)	66
5.2.3 Porcentaje de recuperación	67
5.2.4 Metodología de digestión en horno de microondas	68
5.2.5 Interferencia de matriz	68
5.2.6 Validación del método	70
5.2.7 Cuantificación de metales traza	70

	Página
5.2.7.1 Repetibilidad de los valores obtenidos	71
5.2.8 Efecto del molido en el % de extracción de la bebida de café	72
6 Resultados y discusión	73
6.1 Experimentos Previos	73
6.1.1 Lixiviación ácida y lixiviación con agua caliente	73
6.2 Valores obtenidos	75
6.2.1 Concentración de la bebida de café y uso de nebulizador de alta eficiencia	75
6.2.2 Límites de Detección (LDD) y Límites de Cuantificación (LDC)	76
6.2.3 Porcentaje de recuperación	79
6.2.4 Interferencia de matriz	80
6.2.5 Validación del método	81
6.2.6 Cuantificación de metales traza	82
6.2.6.1 Repetibilidad de los valores obtenidos	90
6.2.7 Efecto del molido en el % de extracción de la bebida de café	91
7 Conclusiones	97
8 Referencias	99
9 Apéndice A. Tablas de RDD	102
10 Apéndice B. Función, fuentes principales, deficiencia y toxicidad de algunos nutrimentos inorgánicos	103
11 Factores que inciden en la calidad del café	105

1. Introducción

El café es un producto que ha estado ligado desde hace varios años al mercado internacional. Tradicionalmente la producción se ha establecido en los países en desarrollo, que estuvieron bajo regímenes coloniales; y por otro lado la industrialización y la mayor parte del consumo se concentra en los países altamente industrializados.

Cada año se consumen en el mundo una cantidad cercana a los 100 millones de sacos de 60 Kg de café verde, los cuales son producidos en los países de América Latina, Asia y África; en oposición a lo anterior, el consumo e industrialización del grano se concentra en los Estados Unidos, Europa y Japón. Esto se debe posiblemente a que la vida de anaquel del café tostado, cuando mucho es de 3 meses y ya molido, se reduce a un máximo de 30 días; esta situación aunada a las políticas derivadas del libre mercado, dificultan la aplicación de los procesos industriales en los países productores.

De cada 10 tazas de café que se consumen en el mundo, 7.3 de ellas se preparan en casa de los consumidores y 2.7 son consumidas en restaurantes, cafeterías y barras, de las 7.3 tazas que se consumen en casa 4.7 provienen de café tostado y molido y 2.6 son de café soluble; de las 2.7 tazas que se consumen fuera de casa, 2.2 son producidas con café tostado y molido y 0.5 tazas son de café soluble. Esto quiere decir que el mercado mundial está segmentado en un 69% del consumo como café tostado y molido y el 31% como café soluble. En México la segmentación del mercado en el 2003 es de un 75% como café soluble y el 25% como café tostado y molido, presentándose como el consumo más bajo de café tostado y molido en comparación con el resto de los países productores; por ejemplo, mientras el consumo anual por habitante en Colombia es de 7 Kg y en Estados Unidos (país importador) es de 4 Kg, en México es menos de 2Kg. Lo anterior puede deberse a que aproximadamente 80% de la producción nacional se exporta y el café que es rechazado por los mercados internacionales, se destina al consumo interno además de la importación de 150 mil sacos de café robusta; el cual es de menor calidad sensorial que el café arábica.

Si se desea incrementar el consumo interno de café tostado y molido será necesario exigir que los productores ofrezcan café mexicano de excelente calidad, dar a conocer las condiciones en que se produce el café en México, las bondades que tiene para la salud y su costo reducido en comparación con otras bebidas; además de dar una mayor y mejor publicidad a este tipo de café.

El valor nutrimental del café en términos energéticos es casi nulo, ya que cada taza aporta menos de 4 Kcal, en lo que se refiere a vitaminas, la única que se encuentra en esta bebida es la niacina aportando aproximadamente 0.4 mg por taza. [27] Sin embargo el café es rico en minerales y si su consumo es moderado, se lleva una dieta variada y balanceada puede ser una fuente importante de diversos minerales, entre los que se puede mencionar al calcio, cinc, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, sodio y potasio.

La presencia de estos minerales y otros se ha reportado en el café verde y café tostado originario de diversas regiones entre las que se puede mencionar a Honduras, Guatemala, Nicaragua, Colombia, Brasil, Tailandia, Camerún, Vietnam y Uganda [18,19]; sin embargo el café mexicano no tenía reportado estos estudios; por tal motivo es necesario realizar tales determinaciones en el café tostado y molido de origen mexicano.

2. Objetivos

- ☆ Cuantificar de cinc, cobre, hierro, magnesio y manganeso; minerales de importancia nutrimental presentes en café tostado y molido de origen mexicano por Espectroscopia de Absorción Atómica con flama.

- ☆ Comparar concentración de estos elementos en el café mexicano y cafés de otras regiones, principalmente Brasil y Colombia.

- ☆ Conocer el porcentaje de extracción de estos minerales durante la preparación de la bebida de café, empleando una cafetera de uso doméstico.

- ☆ Conocer el aporte de la bebida de café a las recomendaciones diarias dietéticas de la población mexicana.

3. Generalidades

3.1 CAFÉ MEXICANO

3.1.1 HISTORIA

El cafeto es originario de África Oriental, de las montañas de Etiopía, fue cultivado por los Árabes presumiblemente desde el año 575 a.C. Posteriormente se convirtió en una bebida muy popular en Egipto, Siria y Turquía. Tratando de explicar los orígenes de la palabra café, se afirma que se deriva del árabe *Kahwah* (caua), término que se extendió a través del vocablo turco *Kahweh* (cave, que significa bebida); los pueblos que adoptaron la infusión conservaron este vocablo y lo adaptaron a su pronunciación: *café* en Español, Francés y Portugués; *coffee* en Inglés, *Kaffee* en Alemán, *caffè* en Italiano, *kaffeó* en Griego, *kaffee* en Sueco y Danés, *kave* en Húngaro y *kia fey* en Chino.

Entre los siglos XV y XVI la bebida fue introducida y comercializada en Europa y de ahí pasó al nuevo continente; alrededor de 1720 se establecieron las primeras plantaciones en las Guayanas Francesa y Holandesa. Existen varias versiones acerca de la llegada del café a México. Algunas coinciden en señalar que fue Don Antonio Gómez quien trajo cafetos de la isla de Cuba y los sembró en Córdoba, Veracruz en 1795. [27] El café se introdujo a México por tres regiones diferentes: en año 1796 de la isla de Cuba a la región de Córdoba, Veracruz; en 1823 proveniente de Moka, Arabia, se introdujo a Uruapan, Michoacán; y en 1847 de Guatemala a Tuxtla Chico, Chiapas. La primera exportación que consistió en 272 quintales, se realizó por el año 1802; a partir de esa fecha, en forma ininterrumpida el país ha continuado la producción y comercialización del grano, aún con los altibajos del precio. [14]

Actualmente, el café se cultiva en 15 estados de la República Mexicana, desde la frontera sur colindando con Guatemala hasta el estado de Nayarit en el Pacífico Norte; siendo los principales productores Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Puebla que contribuyen con más del 80% de la producción nacional. El resto de las entidades cafetaleras son Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Tabasco.

3.1.2 INFORMACIÓN GENERAL

Clasificación Taxonómica y Descripción Botánica

El género *Coffea* incluye por lo menos 70 especies, de las cuales sólo 2 resaltan por su valor comercial en grano para bebida estimulante y son : *C. Arabica* Linneo y *C. Canephora* Pierre.

La clasificación taxonómica para ambas especies de café es la siguiente:

Reino:	Vegetal	Familia:	Rubiaceae
División:	Antiofita	Tribu:	Cofeales
Subreino:	Angiosperma	Género:	Coffea
Clase:	Dicotiledóneas	Sección:	Eucoffea
Subclase:	Simpétala	Subsección:	Erythrocoffea
Orden:	Rubiales	Especies:	Árábica, Canephora

La descripción botánica del cafeto es la siguiente:

1. Cafeto. Es un arbusto que puede medir hasta 7 m de altura, su forma es cónica o irregular y en condiciones normales de crecimiento, se desarrolla con un solo eje.
2. Raíz. El sistema radicular de la planta se constituye por una raíz principal y pivotante, que profundiza de 0,5 hasta 1 m en suelos profundos y cuya principal función es la fijación del cafeto; a partir de este eje se desarrollan de cuatro a ocho raíces axiales y numerosas ramificaciones laterales, responsables de la alimentación hídrica y la nutrición mineral.
3. Tallo y ramas. La planta de café presenta dos tipos de crecimiento: 1) vertical u ortotrópico, representado generalmente por un tallo central con pocas ramificaciones verticales, a menos que reciba algún tipo de poda de formación, para estimular la producción de un mayor número de ejes, este tipo de crecimiento produce sólo yemas vegetativas. 2) Lateral o plagiotrópico, representado por las llamadas bandolas o ramas primarias, las cuales pueden originar ramas secundarias y éstas a su vez terciarias. Estas poseen nudos y entrenudos y son el asiento único de fructificación del cafeto.
4. Hojas. Las hojas se presentan en su mayoría, en el crecimiento lateral o plagiotrópico (primarias, secundarias y terciarias), se sitúan en un mismo plano y crecen opuestas, son elípticas, oblongas o lanceoladas; miden de 7 a 17 cm de largo y de 3 a 8 cm de ancho; son de color verde oscuro brillante en el haz, cerosa y coriáceas, con un verde más pálido y menos brillante en el envés; con nervaduras laterales poco prominentes y márgenes de ondulaciones diversas.
5. Flores. Las flores se presentan en una inflorescencia compleja denominada cima, normalmente se presentan de 2 a 4 flores por cima, es decir entre 4 y 12 flores por

axila. Las flores individuales son completas, hermafroditas y autógamas, presentan cáliz, corola, estambre y pistilo, son de color blanco y miden 6-12 mm de largo y 3-4 mm de ancho; tienen un ovario superior son dos óvulos.

6. Fruto. Botánicamente es una drupa, comúnmente conocida como cereza que mide de 10 a 17 mm de largo por 8 o 14 mm de ancho. Consta de varias partes, epicarpio o epidermis, mesocarpio o pulpa, endocarpio o pergamino y endosperma o semilla.
7. Semillas. Son oblongas, planoconvexas cubiertas por una película plateada o perisperma. La semilla se constituye por el endosperma principalmente cuya coloración es verde oscuro amarillento mide de 10-15 mm de largo por 5-10 mm de ancho, con un embrión pequeño basal de 1-2 mm. La semilla está cubierta por un endocarpio fibroso, comúnmente llamado pergamino. [14]



Figura 1. Flores de Cafeto



Figura 2. Cafeto y frutos

Requerimientos Ecológicos para la Producción de Café

Los elementos climáticos más importantes, y de relación más íntima con la delimitación de las áreas ecológicamente aptas para el cultivo de café, son la intensidad de luz, la precipitación y la temperatura. Estos tres elementos a su vez están ligados a la altitud y latitud, y en conjunto determinan la productividad y calidad del producto final en la taza. Aunque también es necesario mencionar otros factores como el viento, tipo de suelo y la humedad ambiental.

Los requerimientos ecológicos óptimos para el cultivo del cafeto son:

1. Altitud: En México, las mejores alturas se encuentran entre 900 y 1,300 m. Este factor es determinante en la calidad del café, y su efecto varía dependiendo de la latitud en que se encuentren las plantaciones.
2. Intensidad de luz: requiere de 1,500 a 2,500 horas efectivas de luz ; de 200 a 280 horas durante los meses secos y de 100 a 150 durante los meses húmedos.
3. Precipitación: lo ideal es de 1,400 a 2,300 mm bien distribuidos en el año; es necesario un período de sequía relativa de 2 a 3 meses, que debe coincidir con un período de reposo para posteriormente iniciar la floración.
4. Temperatura: con un promedio anual de 18 a 22°C, sin riesgo de heladas, con mínimas de 16°C y máximas de 25°C; valores fuera de estos intervalos causan daño a la planta.
5. Suelo: Debe ser permeable, friable y de textura franca. La buena aireación es fundamental, el suelo ideal para café debe tener un espacio poroso de 60%, del cual la mitad debe permanecer ocupado por aire, cuando está húmedo. El cafeto prospera en suelos ligeramente ácidos y con cualidades físicas que permitan la penetración de las raíces.
6. Vientos: Los vientos fuertes son nocivos para el cultivo del café, ya que producen la ruptura de ramas y caída de hojas, además si se trata de vientos cálidos y secos, propicia un aumento en la transpiración que puede ocasionar el marchitamiento de hojas y brotes jóvenes, deteniendo el crecimiento del cafeto. [14]

En México el 43.5% de los cafetales se encuentra en altitudes superiores a los 600 m con opción a producir café con calidad de exportación Prima Lavado. El 35% con plantaciones a más de 900 m que producen café de altura y Estrictamente Altura. El 21.5% se encuentran situados en altitudes menores a los 600 m, los cuales producen café de menor calidad (Naturales y Robustas). Con respecto a la sombra, el 99% de

los cafetales en México se ubican bajo sombra, de acuerdo a las distintas modalidades como pueden ser natural e inducida y sólo el 1% de las plantaciones están establecidas a pleno sol. [5]

Regiones Cafetaleras de México

El café se cultiva fundamentalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país. La mayoría de las regiones cafetaleras se ubican en tierras de origen volcánico y, en menor medida, en las desarrolladas sobre material sedimentario.

En un análisis eco-geográfico de los municipios donde se produce café en México, se encontró que el 40% de la superficie corresponde a áreas con selvas altas y medianas (zona tropical húmeda), 23% a bosques de pino y encino, 21% a selvas bajas caducifolias y el 15% a bosque mesófilo de montaña. Desde un punto de vista biológico se puede decir que las áreas cafetaleras coinciden con las regiones más ricas en diversidad de flora y fauna mexicana. Los tres estados más importantes para la producción de café, Oaxaca, Veracruz y Chiapas, son a su vez sitios con un alto valor para la conservación de la biodiversidad. Entre los beneficios ambientales que proveen los cafetales están la protección de cuencas hidrológicas, conservación de suelos, protección y conservación de biodiversidad (particularmente de aves), retención de carbono, producción de oxígeno, baja o nula contaminación por agroquímicos y la belleza y estabilidad del paisaje cafetalero. [9, 10]

Con base en el régimen de lluvias, se consideran 4 regiones cafetaleras:

1. Vertiente del Golfo de México. Comprende los estados de San Luis, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Tabasco, el período intenso de lluvias inicia en junio interrumpiéndose en el mes de agosto para reiniciarse en septiembre y finaliza en octubre o noviembre, cuyas precipitaciones oscilan entre los 1,300 y 3,000 mm.
2. Vertiente del Océano Pacífico. Se localizan los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Oaxaca, esta región se caracteriza por tener períodos largos de sequía, la cual comienza en noviembre y termina en mayo. El invierno es seco y caluroso lo que facilita la recolección del fruto, así como el proceso de beneficiado. Los cafetales en esta región se encuentran desde una altitud de 200 a 1,400 m.
3. Región del Soconusco. Conformada por gran parte del estado de Chiapas y aunque geográficamente está ubicada en la Vertiente del Pacífico, difiere en clima de los

demás estados, ya que las precipitaciones son del orden de 2,500 hasta 5,000 mm. Los cafetales se encuentran desde los 200 hasta 1,800 m de altitud.

4. Región Centro Norte de Chiapas. Esta región se caracteriza por tener periodos de sequía prolongados de noviembre a abril, por la influencia directa de los vientos húmedos del Golfo de México. Los cafetales se ubican desde una altitud de 300 a 1,200 m. [5]

Zonas Cafetaleras de México

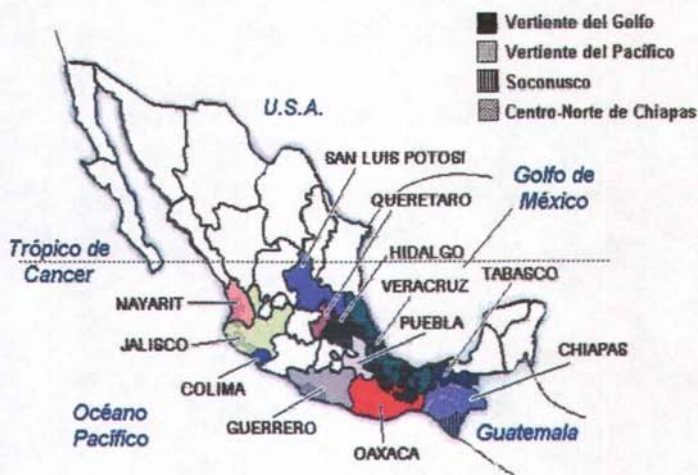


Figura 3. Zonas Cafetaleras de México

Distribución de la Superficie Cafetalera por Variedad

Por lo que respecta a las variedades, éstas se distribuyen como sigue: 97% está sembrada con variedades de la especie *Coffea arábica*, destacando los altos porcentajes de las variedades Typica, Mundo Novo y Caturra, esto se debe a que fueron las primeras introducidas a México en los años 50 y de la variedad Garnica que es el híbrido que ha presentado mayor adaptabilidad y productividad, que fue resultado de las investigaciones en mejoramiento genético realizadas por científicos mexicanos del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), entidad que se extinguió en 1993. El 3% restante está sembrada de café robusta, *Coffea canephora*, con buena adaptabilidad a zonas de escasa altitud. [5]

La cafecultura se encuentra en un proceso de cambio paulatino en las variedades, así como su superficie sembrada. La tendencia ha sido cambiar a variedades de parte baja que permiten realizar cultivos con altas densidades de población. Se han introducido de otros países las variedades Caturra y Catuai, que se han adaptado a las condiciones ecológicas de México. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) recomienda sembrar la nueva variedad de café Oro Azteca, resultado de la cruce entre la variedad Caturra Rojo y el Híbrido Timor, caracterizada particularmente por su resistencia a la roya anaranjada y su buena adaptación a las regiones cafetaleras en altitudes de 600 a 1,200 m.

Tabla 1. Presencia de variedades en las plantaciones

Especie	Variedad	Superficie (Ha)	%
<i>Coffea arabica</i>	Typica	205,515	27,0
	Caturra	152,233	20,0
	Mundo Novo	129,398	17,0
	Garnica	121,786	16,0
	Catuai	53,282	7,0
	Bourbon	30,445	4,0
	Maragogyne	22,835	3,0
	Catimor	15,224	2,0
	Pacamara	7,612	1,0
Total especie arábica		738,3300	97,0
<i>Coffea canephora</i>	Robusta	22,835	3,0
Total de ambas especies		761,165	100,0

Fuente: Encuesta de Pronóstico de Producción 1997-1998, [5]

Tabla 2. Características de las principales variedades de café cultivadas en México

Variedad	Origen	Porte	Brotos	Frutos	Sensibilidad	Producción/Planta (Kg)
Typica	Etiopía	Alto	Bronceados	Rojos	No soporta el sol directo ni vientos	2,8 a 4,8
Bourbon	África	Alto	Verdes claros	Rojos o amarillos	Soporta el sol directo y vientos	5,0 a 5,1
Caturra	Brasil	Bajo	Verdes claros	Rojos o amarillos	Soporta el sol directo	4,9 a 8,9
Mundo Novo	Brasil	Alto	Verdes oscuros	Rojos	Tolera sequía y poder de recuperación	5,4 a 16,6
Maragogyne	Brasil	Alto	Bronceados	Rojos grandes	-	-
Garnica	INMECAF E-México	Bajo o intermedio	Verdes claros	Rojos o amarillos	Tolera el sol directo	6,5 a 17,6
Catuai	Brasil	Bajo	Verdes claros	Rojos o amarillos	Tolera el sol directo	6,7
Variedad	Origen	Porte	Brotos	Frutos	Sensibilidad	Producción/Planta (Kg)
Catimor	Portugal	Bajo	Verdes claros y bronceados	Rojos o amarillos	Resiste a la roya anaranjada	5,2 a 9,4
Robusta	África	Muy Alto	Verdes	Rojos pequeños redondos, escasos de mucilago	Tolera el sol directo	2,8 a 10,8

Fuente: [13]

Control de Plagas

En México se reportan 32 plagas de importancia económica. Entendiendo por plaga cualquier forma de vida vegetal, animal o agente patogénico, dañino o potencialmente dañino a los vegetales; definición que se presenta en la NOM-019-FITO-1995, POR LA QUE SE ESTABLECE LA CUARENTENA EXTERIOR PARA PREVENIR LA INTRODUCCIÓN DE PLAGAS DEL CAFÉ.

La distribución e importancia de las plagas varía por regiones cafetaleras dependiendo de las condiciones agroclimáticas, sistemas de cultivo y manejo de cafetales. En general se puede decir que las plagas compuestas por agentes patógenos (bacterias, virus, etc.) se encuentran diseminadas en todas las regiones, mientras que las compuestas por insectos tienen una incidencia más localizada.

Los sistemas de control de plagas y enfermedades existentes son: legal, genético, químico, cultural y biológico, así como sus combinaciones (control integral). El control químico tuvo auge durante la época de apoyo del INMECAFE, pues proporcionaba los insumos necesarios a los productores; sin embargo a partir de su desaparición y de la caída de los precios, los cafetaleros han dejado de aplicar productos químicos.

Tabla 3. Tipos de control de plagas y enfermedades

Control	Descripción
Legal	Se refiere a la aplicación de la ley de sanidad vegetal, reglamentos, decretos y normas tendientes a evitar la diseminación de plagas y enfermedades de un área a otra. Este control se aplica en casetas de inspección fitosanitaria en puertos y aeropuertos.
Cultural	Consiste en realizar prácticas de cultivo para evitar el establecimiento y desarrollo de plagas y enfermedades tales como: regulación de sombra, control de maleza y poda, entre otras.
Químico	Se refiere a la aplicación de agroquímicos como: insecticidas, funguicidas, acaricidas, entre otros.
Biológico	Consiste en el uso de enemigos naturales de la plaga. Por ejemplo en el caso de la broca del café se utiliza el hongo <i>Beauveria bassiana</i> .
Genético	Se refiere al uso de variedades mejoradas resistentes a las plagas y enfermedades.

Fuente: [13]

Tabla 4. Algunas plagas que afectan al café y el control biológico empleado

Plaga	Control Biológico	Plagas	Control biológico
Broca del grano*	<i>Cephalonomia stephanoderis</i> <i>Prorops nasuta</i> Weterst	Roya del café* (<i>Hemileia vastatrix</i>)	<i>Verticillium lecanii</i>
Minador de la hoja	-	Koleroga o Mal de hilachas	-
Piojos harinosos del follaje	-	Ojo de gallo	-
Piojos harinosos de la raíz (<i>Pseudococcus cryptus</i>)	<i>Beauveria bassiana</i>	Mancha de hierro	-
Barrenadores del tallo (<i>Xylosandrus morigerus</i>)	<i>Beauveria bassiana</i>	Antracnosis del café*	-
Araña Roja	-	Damping off (<i>Rhizoctonia solani</i> Kuehn)	<i>Trichoderma harzianum</i>
Nematodos (<i>Meloidogyne incognita</i>)	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Roya gris de la hoja del café*	-
Mosca del mediterráneo*	-	Mancha foliar bacteriana o tizón de halo*	-
Barrenador de la cereza*	-	Bacteriosis de vicerós*	-
Virosis*	-	Fusariosis*	-

Fuente: [5, 14, 20]. *Se mencionan en la NOM-019-FITO-1995.

Sistemas de Producción (cultivo)

Los sistemas de producción en México están relacionados con las condiciones geográficas, económicas y sociales determinadas por la existencia de variantes tales como: tamaño de predio, tipo de productores, tecnología y costos de producción; siendo de relevante importancia el precio del producto final y los mecanismos de comercialización. En este contexto los sistemas de producción se clasifican de la siguiente forma:

1. Productores tradicionales convencionales, que cultivan el café entre la vegetación natural o asociado a un conjunto de especies útiles, cuya superficie dedicada a café no es mayor a 5 hectáreas, la regulación de sombra no es realizada continuamente y es manejada con especies naturales de la región. Las variedades de café que se manejan son Typica, Mundo Novo y Bourbon, con una densidad de población entre los 900 y 1,300 plantas/hectárea, no realizan aplicación de insumos.
2. Productores orgánicos, cultivan el café en armonía con la naturaleza, conservando el equilibrio entre el medio ambiente y la actividad productiva, realizando trabajos manuales en sus cafetales, como son limpias, podas, labores de conservación del suelo (terrazas), elaboración y aplicación de fertilizantes orgánicos y control biológico de plagas y enfermedades; eliminando el uso de agroquímicos. Estos productores, generalmente están asociados en unidades de producción que son certificadas por organismos y agencias internacionales.
3. Productores con tecnología media o intensiva, que utilizan sombra especializada o bien su cafetal es un policultivo comercial, las variedades de café establecidas en esta categoría son Garnica, Catuai y Catimor, además de las señaladas en el primer

inciso, la superficie cultivada con café esta en el intervalo de 10 a 20 ha, las densidades establecidas se encuentran entre 1,600 a 2,500 plantas por hectárea, la regulación de la sombra es manejada con árboles para dicho propósito tales como Inga, Grevilleae y Cedro Rosado.

4. Productores de tecnología intensiva, con fincas en óptimo desarrollo, cuya edad fluctúa entre los 7 y 15 años, regulación apropiada de sombra con árboles específicos, tamaño de los predios es mayor a las 20 ha, realizan labores culturales apropiadas y fertilización sistemática; las variedades manejadas son las de porte bajo tales como Catuai, Caturra, Garnica y Catimores, en densidades de población de 2,000 a 3,300 plantas/hectárea.[5]

Clasificación Mundial del Origen de los Granos de Café

Clasificando cada región por su exportación predominante, el mapa nos ofrece un panorama general de dónde se encuentran las siguientes clasificaciones:

1. Suaves Colombianos: incluye cafés de Colombia, Kenia y Tanzania, los cuales son todos lavados.
2. Otros suaves: También conocidos como Centrales, incluye la mayoría de los cafés centroamericanos, como también el de México, en conjunto con algunos países del sudeste de Asia. Todos estos cafés son de la especie arábica, la mayoría lavados.
3. Brasil: incluye cafés de Brasil y de otros países sudamericanos. Casi todo este café es arábica no lavado y el resto es robusta.
4. Robusta: Incluye mayormente cafés de África y algunos de origen asiático. Todos los granos son del tipo robusta.

Estas denominaciones son usadas generalmente en los mercados bursátiles de café para diferenciar el tipo de grano, su calidad y su precio. Los Suaves Colombianos son generalmente los de mayor calidad y más alto precio seguidos por Otros Suaves, Brasil y Robustas. [2]

- Arábica lavado: suaves colombianos
- Arábica lavado: otros suaves (centrales)
- Arábica no lavado : Brasil
- Robusta



Figura 4. Clasificación Mundial del Origen de los Granos de Café

3.1.3 INDUSTRIALIZACIÓN Y NORMATIVIDAD DEL CAFÉ

Beneficiado e Industrialización del Café

El beneficio del café es un proceso industrial que consiste en eliminar las cubiertas de la cereza, para pasar de café cereza o bola a café verde comercializable. Para lograrlo existen 2 métodos, la vía húmeda y la vía seca; por medio de la primera se obtienen los cafés lavados o suaves; mientras que por la segunda vía se obtiene el café natural, corriente o tipo brasileño. [13] Cerca del 90% de la producción de café en México se beneficia por la vía húmeda, el resto se beneficia únicamente por secado al sol. [5]

Beneficiado por Vía Húmeda

Esta vía se divide en dos etapas: el beneficiado húmedo, propiamente dicho, que va desde la recepción del café cereza hasta la obtención de café pergamino y la fase conocida como beneficiado seco, que inicia con la limpieza del café pergamino y concluye con la obtención del café oro lavado. [13] Comprende básicamente las siguientes etapas:

1. **Recepción y Clasificación:** se separa el café vano e impurezas por densidad en tolvas o tanques con agua.
2. **Despulpado:** se remueve la pulpa que cubre a los frutos maduros empleando equipos mecánicos denominados despulpadoras.

-
-
3. Remoción del mucílago y lavado: se remueve la capa viscosa que envuelve al grano por medio de una fermentación, donde el grano húmedo permanece en tanques o tolvas de 12 a 24 horas y posteriormente se lava, o utilizando desmucilagadores que remueven mecánicamente esta capa en forma continua, lavándolo con agua a presión.
 4. Oreado y Secado: con el oreado se elimina el exceso de agua superficial del grano, y en el secado se obtiene el café pergamino seco con una humedad del 12%; realizándose con una combinación de patios de secado y secadoras mecánicas.
 5. Limpieza y Trillado del grano: las trilladoras o descascaradoras lo despojan del pergamino y se obtiene el café verde u oro.
 6. Clasificación: se clasifica por peso y tamaño empleando máquinas combinadas que funcionan mediante vibración y aire a contracorriente.
 7. Desmanche: eliminación de grano manchado manual o mecánicamente.
 8. Pesado y Envasado. Se envasa en sacos de ixtle de 69 Kg netos.

Beneficiado por Vía Seca

El café que se obtiene por esta vía tiene poca importancia económica nacional ya que generalmente los productores lo destinan al autoconsumo y venta local, este café proviene generalmente del último corte denominado "arrase" por lo que no se tiene cuidado en seleccionar frutos maduros únicamente, sino que se corta todo el grano que haya quedado, lo cual disminuye la calidad del producto. Este proceso se distingue del beneficio húmedo por la supresión del despulpado y lavado y comprende las siguientes etapas:

1. Secado: la cereza cosechada se deshidrata mediante la exposición al sol en patios de cemento acomodando el grano en capas de 2 a 5 cm de grosor por espacio de 10 a 15 días dependiendo de la madurez del fruto y de las condiciones climáticas. Durante este periodo la humedad del grano desciende a menos del 20%.
2. Morteado: eliminación del pergamino del café, con máquinas que operan por fricción o desgarramiento. En este paso se obtiene el café oro.
3. Clasificación y Envasado. [5,13]

Industrialización

Los productos que se ofrecen en el mercado se obtienen al someter el café verde a diferentes procesos técnicos descritos a continuación.

-
-
1. Torrefacción: proceso durante el cual el grano de café es sometido a altas temperaturas que favorecen cambios físicos y químicos, desarrollándose así las cualidades que caracterizan el aroma, sabor y color propios de la bebida. De esta etapa se obtiene el café tostado en grano.
 2. Molienda: consiste en la reducción del tamaño de partícula del grano tostado, con el objeto de aumentar su superficie y facilitar una posterior extracción de los sólidos solubles. De esta etapa se obtiene el café tostado y molido el cual se empaca en materiales laminados de excelente barrera para proteger el producto del oxígeno y la humedad, los cuales lo deterioran.
 3. Extracción: el café molido se carga en columnas donde es sometido a altas presiones de agua caliente, tratamiento que retira los sólidos solubles y algunas sustancias líquidas, constituyendo así el extracto del café, el cual es filtrado inmediatamente para desechar los sólidos no solubles.
 4. Concentración: consiste en eliminar parte del agua presente en el extracto, mediante evaporación o liofilización, de esta manera quedan concentrados la mayoría de los componentes solubles y aromáticos del café. De las dos últimas etapas se obtiene el "extracto de café", el cual se empaca en canecas metálicas y se almacena a temperaturas menores a -15°C .
 5. Secado: en una cámara de secado por atomización, se elimina el agua contenida en el extracto, por medio de altas temperaturas, obteniéndose los sólidos solubles del café en polvo.
 6. Aglomeración: el café soluble en polvo se muele con el fin de facilitar la aglomeración, la cual consiste en poner en contacto el café finamente molido y vapor saturado, obteniéndose partículas de mayor tamaño y apariencia porosa, la cual facilita la posterior rehidratación. La resistencia a la ruptura, es adquirida durante el paso del producto a través de un lecho fluidizado incorporado al equipo, en el cual el producto se somete inicialmente a altas temperaturas y al finalizar a temperaturas más bajas; este cambio de temperatura da lugar a la dureza de la partícula. Al finalizar la etapa se obtiene el café soluble como aglomerado.
 7. Empaque: tanto el café soluble en polvo y aglomerado, se empacan a granel en cajas corrugadas de doble pared y doble bolsa de polietileno o en frascos de vidrio transparente con tapa plástica provista de un "liner" de cartón y una membrana laminada con aluminio que le dan total hermeticidad al producto. [3]

Las exportaciones de café que realiza México son principalmente de café verde u oro; ya que el proceso de industrialización; como el tostado, molido, descafeinado, etc. lo realizan principalmente los países importadores. Sin embargo, las empresas torrefactoras en México, juegan un papel muy importante dentro de la agroindustria nacional, ya que dan un valor agregado al café oro como materia prima en los procesos de tostado, molido y solubilización, siendo a la vez participantes activos en el proceso de comercialización. [5]

Tabla 5. Exportaciones de café en miles de sacos de 60 Kg

Ciclo	Café Verde	%	Café Soluble	%	Café Tostado	%	Total	%
1994/1995	3,041	93.3	212	6.5	5	0.1	3,259	100
1995/1996	4,327	94.5	237	5.2	15	0.3	4,579	100
1996/1997	4,145	94.6	216	4.9	19	0.7	4,380	100
1997/1998	3,669	94.5	192	4.9	21	0.6	3,882	100

Fuente: [5]

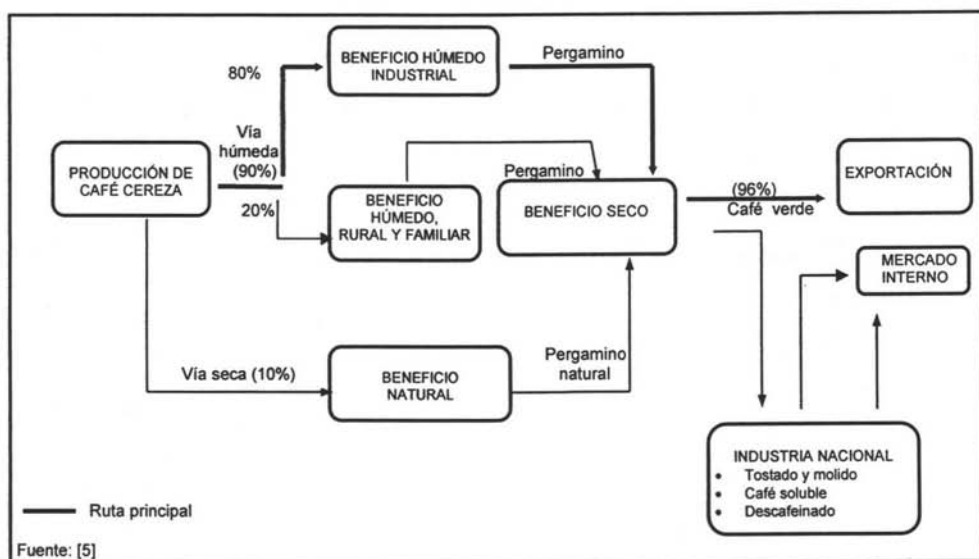


Figura 5. Diagrama de beneficio e industrialización del café en México

Calidades de Café Mexicano y Normatividad

Las normas de calidad del café para los mercados nacionales e internacionales están relacionadas principalmente con la variedad, la altitud, los defectos e imperfecciones y las cualidades organolépticas en taza.

La diversidad de condiciones geográficas y climáticas, aunado a las distintas variedades cultivadas de café y las técnicas de beneficiado, hacen que México cuente con café verde de distintas características físicas y cualidades sensoriales, que están agrupadas en 11 distintos tipos, los cuales son: estrictamente altura, extra prima lavado, prima lavado, buen lavado, lavado, desmanche, natural tipo A, natural tipo B, robusta lavado y robusta natural; cuyas especificaciones se encuentran en su norma de café verde descafeinado NMX-F-552-1998-SCFI y café verde NMX-F-551-1996-SCFI misma que establece los requerimientos de calidad del mercado estadounidense y europeo. La principal diferencia entre los dos mercados de exportación es la mayor exigencia de los europeos, reflejada en la uniformidad de color del café que es de 95 a 100%, en tanto que en Estados Unidos permite 5% menos; para el tamaño del grano los europeos permiten hasta zaranda del número 14 y en E.U.A. se usan hasta número 12; el número de defectos que permite la preparación norteamericana es mayor a 14, en tanto que la europea no permite más de 13; las imperfecciones aceptadas por los europeos no deben sobrepasar el 1.5%, mientras que para E.U.A. permite hasta 3; en los aspectos sensoriales, aroma, acidez, cuerpo y sabor tienen requerimientos similares.

Tabla 6. Calidad preparación norteamericana

Parámetro	Estrictamente altura	Altura	Extra prima lavado	Prima lavado	Buen lavado	
Humedad	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	
Color: Uniformidad	90-95%	90-95%	90-95%	90-95%	90-95%	
Tamaño del grano	75% o más sobre zaranda 15	75% o más sobre zaranda 15	75% o más sobre zaranda 13	75% o más sobre zaranda 13	75% o más sobre zaranda 12	
Número de Defectos	14-26	14-26	14-26	14-26	14-26	
Imperfecciones	1.5-3%	1.5-3%	1.5-3%	1.5-3%	1.5-3%	
Sensoriales	Aroma	5	5-4	4	4-3	3-2
	Acidez	5	5	5-4	4-3	2-1
	Cuerpo	5	5-4	5-3	4-2	2-0
	Sabor	5	5-4	5-3	3	3-2

Tabla 7. Calidad preparación europea

Parámetro	Estrictamente altura	Altura	Extra prima lavado	Prima lavado	Buen lavado	
Humedad	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	
Color: Uniformidad	95-100%	95-100%	95-100%	95-100%	95-100%	
Tamaño del grano	75% o más sobre zaranda 15	75% o más sobre zaranda 15	75% o más sobre zaranda 14	75% o más sobre zaranda 14	75% o más sobre zaranda 14	
Número de Defectos	0-13%	0-13%	0-13%	0-13%	0-13%	
Imperfecciones	0-1.5%	0-1.5%	0-1.5%	0-1.5%	0-1.5%	
Sensoriales	Aroma	5	5-4	4	4-3	3-2
	Acidez	5	5	5-4	4-3	2-1
	Cuerpo	5	5-4	5-3	4-2	2-0
	Sabor	5	5-4	5-3	3	3-2

3.1.4 PRODUCCIÓN Y NORMATIVIDAD DEL CAFÉ ORGÁNICO

La agricultura orgánica del café en México se inicia en 1963 como un proceso continuo de desarrollo de la tecnología tradicional para su producción, con insumos naturales, materiales locales y el conocimiento del medio ambiente regional, conocimientos que se transmiten de padres a hijos. Considerando la identidad cultural y el conjunto de conocimientos que se heredan se tiene como resultado una tecnología amigable que convive con la naturaleza de una forma armónica, productiva y sostenible.

[5]

La Norma Oficial Mexicana NOM-037-FITO-1995, POR LA QUE SE ESTABLECEN LAS ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS ORGÁNICOS. Define como agricultura orgánica a un sistema de producción agrícola orientado a la producción de alimento alta calidad nutritiva en cantidades suficientes que interactúa con los sistemas y ciclos naturales en una forma constructiva de forma que promueve vida; mejora y extiende ciclos biológicos dentro del sistema agrícola, incluyendo microorganismos, flora del suelo y fauna; mantiene y mejora la fertilidad del suelo a largo plazo; promueve el uso sano y apropiado del agua, recursos del agua y toda la vida en ésta, en el que, el control de malezas, plagas y enfermedades es sin el uso de insumos de síntesis químico industrial.

Se llama orgánico a aquel producto que cumple con ciertos requisitos bien establecidos:

1. En su cultivo **no se usaron fertilizantes, insecticidas o fungicidas químicos**; en vez de ello se emplean métodos alternativos para el control de plagas y se elaboran compostas para devolver al suelo los nutrimentos perdidos.
2. Se realizan **prácticas culturales específicas** para conservar la tierra y sus nutrimentos, como al hacer terrazas o barreras naturales para evitar la erosión.
3. Se cuenta con una **certificación vigente** avalada por alguna instancia reconocida.

Estos puntos deben realizarse durante dos o tres años antes de que un producto pueda llamarse "orgánico"; sólo entonces los organismos de inspección avalan que dichos productos realmente son orgánicos.

Los organismos genéticamente modificados (OGM) y los productos obtenidos a partir de éstos son incompatibles con los métodos de producción orgánica y por lo tanto en los productos etiquetados como procedentes de producción orgánica no pueden utilizarse organismos genéticamente modificados, partes de éstos o productos obtenidos a partir de éstos. [38]

La producción de café orgánico mexicano se encuentra respaldada por Organismos y Empresas especializadas en la promoción y/o certificación de Productos Orgánicos reconocidos por IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica), como OCIA, DEMETER, NATURLAND, etc.; en algunos casos, también participa TRANSFAIR INTERNATIONAL.

Tecnología

Los agricultores de café orgánico en México cuentan con una metodología para la producción, la cual considera la utilización del diagnóstico de los cafetales basada en el estado físico de las plantas y bajo las siguientes consideraciones:

1. Que los cafetos se encuentren bajo sombras, para obtener los siguientes beneficios:
 - ☆ Reducir el impacto del agua en la superficie del suelo.
 - ☆ Aportar materia orgánica a la vida del suelo.
 - ☆ Reducir el crecimiento de las hierbas.
 - ☆ Regular las corrientes del viento al interior del cafetal.
 - ☆ Regular la humedad al interior del cafetal.
 - ☆ Aumentar la retención del suelo.
 - ☆ Servir de hospedero natural a las aves y mamíferos que viven en la montaña.
 - ☆ Estimular la biodiversidad al interior de las plantaciones.
2. Que las variedades no sean exigentes en el consumo de fertilizantes químicos.
3. Que el agricultor se comprometa a implementar las técnicas que el manejo sugiere, las cuales son:
 - ☆ Podar las plantas que componen el ecosistema.
 - ☆ Regular la sombra.
 - ☆ Hacer trabajos de protección de suelos.
 - ☆ Fabricar aboneras.
 - ☆ Prevenir las plagas y enfermedades sobre la base de realizar a tiempo las labores de cultivo y,

☆ Desechar todas aquellas labores de cultivo que implican inversión e insumos externos.

Los productores y procesadores orgánicos de los países con quienes se tienen firmados tratados comerciales, gozan de diversos apoyos como incentivos económicos por practicar la agricultura ecológica u orgánica (servicios ambientales), recursos para la investigación, seguros contra riesgos, autorización a organismos certificadores sin costo alguno en la obtención de sus autorizaciones, o en su caso acreditaciones con costos mínimos, lo que pone en desventaja a los productores mexicanos.

México tiene un enorme potencial para la exportación de productos orgánicos; ha logrado exportar café, aguacate, vainilla, maíz azul, ajonjolí, hortalizas, hierbas, mango, naranja, papaya, plátano, piña, miel, entre otros, sin embargo, la carencia de leyes y regulaciones propias, ha limitado su crecimiento.

Tabla 8. Valor promedio de las exportaciones de café orgánico

Concepto	Ciclo Cafetalero			
	1994-1995 us. dólares/saco	1995-1996 us. dólares/saco	1996-1997 us. dólares/saco	1997-1998 us. dólares/saco
Otros Suaves	147.01	110.84	151.47	152.74
Café Orgánico	190.05	147.65	186.08	167.71
Diferencia	43.04	36.81	34.61	14.97
%Diferencia	29%	33%	23%	10%

Fuente: [5]

Tabla 9. Exportaciones de café orgánico mexicano

Países Destino	Ciclo Cafetalero		
	1995-1996 sacos de 60 Kg	1996-1997 sacos de 60 Kg	1997-1998 sacos de 60 Kg
E.U.A.	10,933	17,762	119,074
Alemania	14,606	13,478	32,295
Holanda	6,330	7,533	16,422
Dinamarca	1,150	7,475	17,779
España	-	-	13,800
Suecia	1,725	6,038	9,775
Japón	426	4,189	8,789
Italia	2,131	2,013	2,588
Noruega	-	2,013	3,335
Francia	288	1,750	2,346
Austria	863	863	863
Suiza	265	-	713
Canadá	-	-	1,167
Bélgica	-	144	575
Reino Unido	-	120	288
Argentina	-	-	148
Total	38,717	63,378	229,957

Fuente: [5]

3.1.5 PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE CAFÉ EN MÉXICO

El café es un producto que ha estado ligado desde hace varios siglos al mercado internacional. Tradicionalmente la producción se ha establecido en los países en desarrollo, que estuvieron bajo regímenes coloniales; y por otro lado la industrialización y la mayor parte del consumo se concentra en los países desarrollados. Cada año se consumen en el mundo una cantidad cercana a los 100 millones de sacos de 60 Kg de café verde, los cuales son producidos en los países de América Latina, Asia y África. En cambio, el consumo se concentra en los Estados Unidos, Europa y Japón. [5,9]

El mercado mundial de café está segmentado en un 69% que consume café tostado y molido y un 31% que consume café soluble; en lo concerniente a México, en los 5 años comprendidos entre 1994 y 1998 el consumo per cápita paso de 900 a 770 gramos, lo que representa casi 170 mil sacos menos, consolidándolo como el país productor con menor consumo interno de café. Esto se explica porque la oferta disponible de café es de baja calidad; así en México a diferencia del mercado mundial, el mayor consumo es de café soluble nacional (tradicionalmente fabricado con café de inferior calidad) y el segundo lugar lo ocupa el café tostado y molido que proviene, en la mayor parte de los casos, de café "caracolillo" y "planchuela" que son los *rechazos* de los mercados internacionales; en el lapso mencionado la industria en México, por un lado, redujo la utilización de café verde de origen nacional en más de 195 mil sacos y por otro, duplicó sus importaciones de café robusta de 9 a 19 mil sacos.

Las importaciones de café industrializado para el consumo interno en el periodo analizado se incrementaron en su equivalente a más de 16 mil sacos, llegando a 28 500 sacos, resaltando que los solubles representan el 75%. [9]

México ocupa el tercer lugar en producción de café en toda América, precedido únicamente por Brasil y Colombia; y el quinto lugar mundial, teniendo como competidores, además de los países latinoamericanos a Vietnam, Indonesia y La India, éste último en los años 2001 y 2002 desbancó a México del quinto lugar mundial.

Tabla 10. Participación de México en la oferta mundial de café

Ciclo	Producción (millones de sacos de 60 Kg)			Exportación (millones de sacos de 60 Kg)		
	Mundial	México	%	Mundial	México	%
1993/94	89.8	4.1	4.6	72.3	3.1	4.3
1994/95	95.3	4.2	4.4	65.3	3.3	5.0
1995/96	85.6	5.3	6.2	75.0	4.5	5.9
1996/97	102.6	5.1	5.0	82.0	4.4	5.3
1997/98	96.0	4.8	5.0	78.1	3.9	5.0
1998/99	104.3	4.8	4.6	89.8	4.3	4.8
1999/00	106.1	6.2	5.8	79.3	5.1	6.5

Ciclo	Producción (millones de sacos de 60 Kg)			Exportación (millones de sacos de 60 Kg)		
	Mundial	México	%	Mundial	México	%
2000/01	112.7	4.8	4.3	89.4	5.3	5.9
2001/02	109.7	4.2	3.8	90.4	3.3	3.7
2002/03	121.9	4.0	3.3	88.5	2.6	2.9

Fuente: [9, 23]

Tabla 11. Producción mundial de café

Lugar Actual	País	Especie de Café producido	Ciclo (producción en miles de sacos de 60 Kg)			
			2000	2001	2002	2003
1	Brasil	A/R	32 005	33 743	48 480	28 825
2	Vietnam	R	14 775	13 133	11 555	11 250
3	Colombia	A	10 535	11 999	11 889	11 000
4	Indonesia	A/R	6 974	6 833	6 785	6 464
5	México	A	4 815	4 200	4 000	4 550
6	India	A/R	4 526	4 970	4 676	4 508
7	Etiopía	A	2 768	3 756	3 693	4 333
8	Uganda	A/R	3 205	3 166	2 910	3 100
9	Guatemala	A	4 940	3 669	4 070	3000
10	Honduras	A	2 667	3 036	2 497	2 913
Producción Total			112 679	109 675	121 948	100 691

Fuente: [23]

A: café arábica

R: café robusta

Tabla 12. Exportación de café verde de algunos miembros de la ICO (costales de 60 Kg)

País	Año 2001		Año 2002		Año 2003	
		%		%		%
Brasil	23 172 405	25.64	28 161 046	31.83	25 687 639	29.94
Colombia	9 943 630	11.00	10 273 425	11.61	10 244 392	11.94
Cote d'Ivoire	4 094 522	4.53	3 253 215	3.68	2 646 649	3.08
Guatemala	4 110 378	4.55	3 491 328	3.95	3 820 800	4.45
Honduras	2 391 613	2.65	2 711 260	3.06	2 425 237	2.83
India	3 740 104	4.14	3 542 830	4.00	3 706 835	4.32
Indonesia	5 243 405	5.80	4 285 830	4.84	4 752 972	5.54
México	3 333 166	3.69	2 644 644	2.99	2 594 508	3.02
Perú	2 662 796	2.95	2 789 464	3.15	2 412 192	2.81
Uganda	3 059 763	3.39	3 357 847	3.79	2 522 128	2.94
Vietnam	13 945 528	15.43	11 771 367	13.30	11 641 292	13.57
Total mundial	90 378 655	100	88 471 880	100	85 793 736	100

Fuente: [23]

La composición de las exportaciones de café mexicano varían de acuerdo al año cafetalero, si tomamos al ciclo 98/99 para ejemplificar esta composición tenemos que un 85.2% del volumen corresponden a café verde; un 5.2% a café industrializado del cual 4.79 corresponde a café soluble, 0.32% a café tostado y un 0.04% a extractos; y el restante 9.65 corresponde a la categoría de otros tipos donde el 6.86% es café descafeinado y el 2.79% es café orgánico.

Como vemos México exporta principalmente café verde y su principal comprador es Estados Unidos con una participación del 80%, seguido de la Comunidad Europea y Japón. Posiblemente la exportación de café industrializado se vea afectada por diversos factores en los que se puede mencionar la corta vida de anaquel del café tostado y

molido, la competencia con empresas internacionales de renombre o bien, la capacidad de las industrias no es suficiente para abastecer al mercado nacional y al internacional al mismo tiempo.

Se piensa que en un futuro el comercio del café orgánico ocupe una participación mayor debido al cambio en la demanda y el consumo de alimentos en respuesta a la preocupación por la salud y a las nuevas exigencias en los gustos y preferencias de los consumidores, así como a la mayor conciencia que ahora se tiene de la necesidad de proteger el medio ambiente y apoyar la permanencia de los productores en el área rural.

[9]

Tabla 13. Destinos de las exportaciones de café mexicano (miles de sacos de 60 Kg)

País	1997/98		1998/99		1999/00	
	Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
Estados Unidos	3,035.0	78.2	3,309.1	81.0	4,012.0	78.1
Unión Europea	552.7	14.2	443.8	10.9	676.5	13.2
Alemania	112.9	3.2	92.6	2.3	126.8	2.4
Francia	94.2	2.4	70.9	1.7	114.9	2.2
Holanda	89.4	2.3	102.1	2.5	122.0	2.4
Japón	144.5	3.7	167.0	4.1	201.7	3.9
Otros	149.8	3.9	164.6	4.0	247.5	4.8
Total	3,881.9	100	4,084.6	100	5,137.9	100

Fuente: [9]

En los años recientes el mercado internacional del café ha pasado por dos situaciones distintas: un esquema de comercio regulado entre los países productores y consumidores y un esquema de libre comercio. El esquema de comercio controlado operó de 1962 a 1988. Después de varias crisis de sobreproducción de café, en el año 1962 se crea la Organización Internacional del Café (OIC), que es un organismo multinacional que funciona en el marco de la ONU, teniendo su sede en la ciudad de Londres. Bajo este esquema el mercado se controlaba mediante un conjunto de acuerdos establecidos en un Convenio Internacional del Café (CIC) en el que las cláusulas económicas del mismo tenían por objetivo realizar un equilibrio razonable entre la oferta y la demanda, sobre bases que garantizaran a los consumidores un adecuado abastecimiento de café a precios equitativos, y a los productores, un mercado seguro para el grano a precios adecuados.

El 3 de julio de 1988, al romperse las cláusulas del CIC, debido a la presión de E.U.A. por parte de los importadores y de México por parte de los exportadores, se inicia la operación del mercado mundial del café bajo un régimen de mercado libre. La

consecuencia inmediata fue una exportación indiscriminada y desorganizada de las existencias de grano que poseían los países productores, lo que provocó una sobreoferta del producto y una caída severa de los precios. De hecho los precios internacionales perdieron 40% de su valor entre junio y agosto de 1989 y siguieron bajando desde esa fecha hasta la mitad de 1994, en que la disminución de la cosecha en Colombia debido a la broca del grano y una fuerte helada en las áreas productoras de Brasil, movieron el mercado a la alza. Esta buena racha duro de 1995 a 1998. Desde 1999 a la fecha se observa una caída drástica de las cotizaciones que llevaron a los precios internacionales a casi alcanzar el precio más bajo del período analizado. [9]

Tabla 14. Precios pagados a México en centavos de dólar por libra de café arábica

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	171	169	168	206	186	170	156	165	149	133	126	123
1996	141	134	131	98	99	97	N/a	N/a	N/a	133	135	135
1997	124	157	139	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	124	126	133
1998	123	106	102	106	105	98	N/a	N/a	N/a	88	77	100
1999	96	93	90	78	78	82	82	60	68	62	85	91
2000	89	85	78	73	66	63	57	58	51	51	47	46
2001	47	54	59	54	55	54	52	51	52	57	54	52
2002	45	47	62	51	39	35	36	35	41	43	25	51
2003	59	63	55	53	58	70	55	59	61	N/a	N/a	N/a

Fuente: [23], N/a: no obtenido

3.2 IMPORTANCIA NUTRIMENTAL Y TOXICOLÓGICA DE LOS ELEMENTOS INORGÁNICOS.

Los nutrimentos se clasifican en dispensables e indispensables, siendo los primeros aquellos que el organismo puede sintetizar y en ocasiones también obtenerlos a través de la dieta; los segundos obligatoriamente se deben ingerir en la dieta ya que el organismo no puede sintetizarlos y son necesarios para el sostenimiento de la vida.

A excepción de los elementos ligados orgánicamente con pesos moleculares de 16 o inferiores (Hidrógeno (H), Carbono (C), Nitrógeno (N) y Oxígeno (O)), todos los demás pueden ser considerados al hablar del metabolismo de los elementos inorgánicos. Se considera que un elemento inorgánico es indispensable para el organismo cuando cumple todos los requisitos siguientes:

1. Debe estar presente en concentración razonable constante en los tejidos sanos de todos los animales, variando poco de un animal a otro.
2. Su deficiencia en la dieta de distintas especies animales debe tener como resultado el desarrollo de anomalías estructurales o fisiológicas; aclarando que estas dietas deben contener todos los demás nutrimentos indispensables conocidos en cantidades y proporciones adecuadas y carecer de propiedades tóxicas.
3. La adición del elemento a tales dietas selectivamente deficientes debe evitar el desarrollo de las anomalías o hacerlas desaparecer.

En un contexto médico los elementos inorgánicos se subdividen en tres grupos principales, basándose en la cantidad diaria necesaria: macroelementos, microelementos y oligoelementos. [35]

1. **Macroelementos:** elementos cuyas necesidades diarias superan los 100 mg.
 - ☆ Calcio (Ca)
 - ☆ Cloro (Cl)
 - ☆ Potasio (K)
 - ☆ Magnesio (Mg)
 - ☆ Sodio (Na)
 - ☆ Fósforo (P)
 - ☆ Azufre (S)
2. **Microelementos:** elementos cuyas necesidades diarias varían de menos de 1mg a 100 mg.
 - ☆ Boro (B)
 - ☆ Bromo (Br)
 - ☆ Cobalto (Co)
 - ☆ Cromo (Cr)
 - ☆ Cobre (Cu)
 - ☆ Flúor (F)
 - ☆ Hierro (Fe)
 - ☆ Yodo (I)

-
-
- | | |
|------------------|------------------|
| ☆ Manganese (Mn) | ☆ Molibdeno (Mo) |
| ☆ Selenio (Se) | ☆ Silicio (Si) |
| ☆ Cinc (Zn) | |

3. Oligoelementos: elementos cuyas necesidades reales todavía no han sido establecidas, pero se trata de microgramos.

- | | |
|-----------------|-----------------|
| ☆ Arsénico (As) | ☆ Germanio (Ge) |
| ☆ Níquel (Ni) | ☆ Estaño (Sn) |
| ☆ Vanadio (V) | ☆ Tungsteno (W) |

Existen elementos inorgánicos clasificados como posiblemente esenciales, lo que quiere decir que la información experimental obtenida hasta ahora no es suficiente para demostrar que cumplen con todas las condiciones de esencialidad. Estos elementos varían de acuerdo al autor consultado pero podemos mencionar los siguientes:

- | | |
|-----------------|------------------|
| ☆ Arsénico (As) | ☆ Bario (Ba) |
| ☆ Bromo (Br) | ☆ Cadmio (Cd) |
| ☆ Silicio (Si) | ☆ Estroncio (Sr) |

Por último se mencionan a los elementos inorgánicos que son clasificados o conocidos como metales tóxicos; se puede definir como un metal tóxico a aquel que pertenece al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo, aún a concentraciones bajas. [37] Sin embargo, prácticamente todos los elementos pueden ser tóxicos si el individuo los consume en cantidades suficientemente grandes o por períodos de tiempo prolongados. [17] La toxicidad de una sustancia está dada principalmente por la dosis de la misma, entendiendo por dosis la cantidad, en este caso de metal, que es introducida al organismo vía oral, parenteral, cutánea o por inhalación en un tiempo determinado. La toxicidad está determinada por la dosis a nivel celular y factores como la forma o la especie química, el tiempo de vida media dentro del organismo y la unión a ligandos. La interacción del tóxico con elementos o metales indispensables ocurre cuando el metabolismo de un metal tóxico es similar al del metal indispensable. La absorción de metales tóxicos a través del tubo digestivo o pulmones se ve influenciada por un metal indispensable, en particular si el metal tóxico comparte un mecanismo homeostático o influye sobre el mismo. Los metales tóxicos pueden influir sobre la función de metales indispensables como cofactores para enzimas u otros procesos metabólicos. Los siguientes elementos son considerados como metales tóxicos:

☆ Plata (Ag)	☆ Aluminio (Al)
☆ Arsénico(en grandes cantidades)(As)	☆ Oro (Au)
☆ Bario (Ba)	☆ Berilio (Be)
☆ Cadmio (Cd)	☆ Mercurio (Hg)
☆ Litio (Li)	☆ Plomo (Pb)
☆ Rubidio (Rb)	☆ Antimonio (Sb)
☆ Titanio (Ti)	☆ Elementos radioactivos

La presencia de todos elementos inorgánicos en el organismo coincide con su concentración en los alimentos consumidos. Los metales que se encuentran en los alimentos, deben su presencia a diferentes causas, que van desde su obtención o cultivo, hasta su industrialización, distribución y forma de preparación en los hogares.

Existen recomendaciones de las cantidades de elementos individuales a ingerir diariamente hechas por numerosos comités nacionales e internacionales de expertos, como la FAO/OMS, INN, INCAP, etc. El significado de los valores de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) son los niveles de ingestión de nutrimentos que se consideran adecuados para satisfacer las necesidades nutrimentales individuales del hombre en general. [29] Los valores de las Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD) son las cantidades de energía y nutrimentos que los alimentos deben aportar para satisfacer las necesidades nutrimentales de todos los individuos sanos de una población. Es decir, que las RDD son aplicables a grupos de población. Para establecer las recomendaciones dietéticas de individuos u hogares específicos, es necesario ajustar los valores de acuerdo a las características particulares del individuo o de los miembros del hogar en cuestión. Por otra parte, ajustes metabólicos transitorios y las reservas corporales de nutrimentos permiten cierta variabilidad en las necesidades nutrimentales, por lo que no es necesario ingerir la misma cantidad de nutrimentos cada día. Por eso, aunque se expresan como recomendaciones diarias, las cifras son el promedio de las recomendaciones durante cierto período de tiempo. Ese período varía con cada nutrimento y las características del individuo. Sin embargo, como regla general se puede considerar adecuado un promedio diario a lo largo de una semana. Este período de tiempo coincide con determinantes socioeconómicos y culturales de la dieta, tales como la compra periódica y la costumbre de preparar o comer determinados alimentos en ciertos días de la semana.[36]

Cada uno de los elementos indispensables tiene funciones fisiológicas específicas entre las que se puede mencionar, en el ejemplo del calcio el formar parte estructural del esqueleto, intervenir en diversos procesos como la transmisión de impulsos nerviosos, coagulación sanguínea, contracción muscular, secreción de hormonas y permeabilidad de membranas. También pueden formar parte de vitaminas, proteínas y enzimas, por ejemplo el Co de la vitamina B₁₂, el Fe de la hemoglobina, el Cu de la citocromo oxidasa, el Cr en el factor de tolerancia a la glucosa. En general los metales pueden actuar como cofactores en sistemas enzimáticos, activadores o facilitadores de reacciones metabólicas, transportadores de sustancias en el organismo y constituyentes de moléculas con funciones esenciales.

A continuación se hablará brevemente del metabolismo, funciones fisiológicas, ingesta diaria recomendada, toxicidad, y principales fuentes alimentarias de los elementos que se cuantificaron en este experimento.

3.2.1 CINC (Zn)

El cinc (Zn) es un catión divalente, con número atómico de 30 y un peso atómico de 65.37; principalmente se encuentra en forma de sulfuro (ZnS) y frecuentemente está asociado con sulfuros de otros metales como plomo (Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd), y hierro (Fe).

Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD)

Tabla 15. Recomendaciones dietéticas diarias de Zn

GRUPO	EDAD (años)	mg	
Niños	0-6 meses	5	
	6-12 meses	5	
	1-7	10	
	7-10	15	
Mujeres	10-14	15	
	14-25	15	
	25-65	15	
	≥ 65	15	
	Cantidades adicionales durante		
	Embarazo	15	
Lactancia	19		
Varones	10-14	15	
	14-25	15	
	25-65	15	
	≥65	15	

Fuente: [4]

Metabolismo

Absorción y Excreción

El cinc se absorbe sobre todo en el duodeno; la absorción es mayor con ingestiones bajas y disminuye cuando la ingestión es alta. La absorción del cinc se inhibe cuando la dieta contiene un exceso de calcio (Ca), cobre (Cu) y al parecer el cadmio (Cd) es un antimetabolito del cinc. [19]

La principal ruta de excreción del cinc es vía heces, con pequeñas cantidades eliminadas en orina. En humanos adultos con una ingesta diaria de 10 a 15 mg, el 90% de esta cantidad es excretada en las heces. [30] Las pérdidas de Zn son a través de los riñones, piel e intestino. La pérdida intestinal endógena puede variar de 0.5 mg/día a 3 mg/día mientras que las pérdidas por orina y piel son del orden de 0.5-0.7 mg/día, se debe recordar que las cantidades varían de acuerdo con la ingesta de cinc. El ejercicio extenuante y elevadas temperaturas pueden causar pérdidas por transpiración. [8,24]

La mayor parte del cinc del organismo se encuentra en el hígado, músculo, órganos sexuales masculinos, huesos, tejido epidérmico (piel, cabello) y sangre, aunque también en el páncreas, riñón e hipófisis.

Funciones Metabólicas

El cinc es un nutrimento indispensable para plantas, animales y seres humanos, ya que es componente esencial de un gran número de enzimas (>300) participantes en la síntesis y degradación de hidratos de carbono, lípidos, proteínas, y ácidos nucleicos así como en el metabolismo de otros micronutrientes. Entre estas enzimas se pueden mencionar a la fosfatasa alcalina del plasma, la anhidrasa carbónica, muchos tipos de deshidrogenasas (alcohol deshidrogenasa del hígado), la carboxipeptidasa pancreática A y la polimerasa del ARN del núcleo del hepatocito. Se considera que el cinc no sólo actúa como cofactor enzimático, sino que también estabiliza la estructura molecular de los componentes celulares y membranas contribuyendo de esta manera al mantenimiento integral de las células y órganos. Además, juega un papel esencial en la transcripción del ARN y por tanto en el proceso de expresión genética.

☆ HORMONAS

El cinc tiene un papel importante en la producción, almacenamiento y secreción de hormonas. Entre los efectos causados por su deficiencia se observa disminución en la producción y excreción de hormonas tales como, la testosterona e insulina. Además de una hipofunción testicular afectando la espermatogénesis.

☆ CRECIMIENTO

El cinc es vital para el crecimiento; se ha observado en todas las especies que su deficiencia causa atrofia en el crecimiento; esto debido posiblemente a un daño en la biosíntesis de ácidos nucleicos [30] o bien a una deficiente utilización de aminoácidos o en la síntesis de proteínas.

La pérdida de apetito y un crecimiento reducido son los primeros signos de una deficiencia moderada.

☆ PIEL Y CICATRIZACIÓN DE HERIDAS

La piel es particularmente rica en cinc y los signos cutáneos de su déficit son: una erupción erosiva, pustular, inflamatoria alrededor de la boca, en áreas sacrales y en el área genital. Puede haber pústulas, paroniquia, glositis, queilitis y pérdida de cabello. El reemplazo de cinc vía parenteral lleva a rápida recuperación cutánea (en días o semanas) y de la mayoría de las otras anomalías. En diversas especies se ha comprobado que un déficit de cinc demora la cicatrización de heridas (quemaduras, cortadas, incisiones) y su administración normaliza el proceso.

☆ Cereales
integrales

☆ Productos
lácteos

☆ Nueces

☆ Legumbres

Las mejores fuentes de cinc, por su contenido y biodisponibilidad, son la carne, hígado, huevos y mariscos, especialmente las ostras. Los cereales tienen un contenido considerable de Zn pero su biodisponibilidad es relativamente baja; el proceso de molienda y refinado reduce hasta un 75% el contenido de éste mineral.

El proceso de enlatado de alimentos, especialmente del tomate, frijol y espinaca, también reduce el contenido de Zn en más de 50%.

Varios factores dietéticos reducen la biodisponibilidad del cinc, particularmente las concentraciones altas de fibra, fitatos, oxalatos y taninos. La cocción de alimentos con un contenido importante de fitatos y calcio forma un precipitado insoluble de cinc y calcio. La ingestión de bebidas alcohólicas parece reducir la absorción intestinal de cinc. [36]

3.2.2 COBRE (Cu)

Cobre, con número atómico de 29, peso atómico de 63.54, punto de fusión de 1083.4°C, punto de ebullición 2595°C y estados de oxidación de 1+ y 2+. Es un metal maleable, dúctil y buen conductor del calor y la electricidad.

El principal uso del cobre, aproximadamente la mitad de su producción, es en equipo eléctrico. El cobre también forma aleaciones con otros metales como la plata, cadmio, estaño y cinc. Las sales de cobre pueden usarse como pesticidas por ejemplo; solución de sulfato de cobre al 1-2% para prevenir el enmohecimientos de uvas. [11]

Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD)

Tabla 16. Recomendaciones dietéticas diarias de Cu

GRUPO	EDAD (años)	Mg	
Niños	0-6 meses	0,5	
	6-12 meses	0,6	
	1-3	8,0	
	3-7	1,2	
	7-10	1,5	
Mujeres	10-18	2,5	
	18-25	2,5	
	25-65	2,5	
	≥ 65	2,5	
	Cantidades adicionales durante		
	Embarazo		3,0
Lactancia		3,0	
Varones	10-14	2,0	
	14-25	2,5	
	25-65	2,5	
	≥ 65	2,5	

Fuente: [4]

Metabolismo

Absorción y Excreción

La absorción de cobre por inhalación a través de los pulmones, en humanos como en animales es insignificante, sin embargo una elevada contaminación industrial puede elevar las concentraciones de cobre en plasma.

En circunstancias normales la absorción gastrointestinal de cobre está normalmente regulada por las reservas corporales. Se transporta en el suero unido al principio a la albúmina y más tarde con mayor firmeza unido a la ceruplasmina, donde se intercambia en la forma cúprica. La concentración sérica normal de cobre es de 120 a 124 µg/L. La bilis es la vía excretora normal y tiene una participación primaria en la homeostasis del cobre. La mayor parte de éste se almacena en el hígado y la médula ósea, donde puede estar unido a la metalotioneina. En el recién nacido la cantidad de cobre presente en la leche materna no basta para mantener las concentraciones adecuadas del hígado, pulmones y bazo. Las concentraciones hísticas declinan de manera gradual

hasta alrededor de los 10 años de edad, y permanecen relativamente constantes a partir de entonces. Por otro lado, las concentraciones en el cerebro tienden a duplicarse desde la lactancia hasta la edad adulta. [15]

Además del hígado el cobre se almacena en el cerebro, corazón, riñones y músculos. Un almacenamiento excesivo en el hígado ocurre en la enfermedad de Wilson, un error innato del metabolismo, también llamado degeneración hepatolenticular. Este almacenamiento está relacionado a un deterioro en los mecanismo de transporte del cobre a las células del hígado; la excreción biliar y la síntesis de ceruloplasmina son afectadas. Los pacientes afectados con esta enfermedad presentan niveles altos de cobre en orina, por ejemplo 90 µg/día contra 20 µg/día del control, ambos consumen la misma dieta. [11]

Funciones Fisiológicas

El cobre es requerido para la respiración celular, formación de huesos, para la adecuada función cardíaca, desarrollo de tejido conectivo, formación de queratina y pigmentación de los tejidos. El cobre es un componente esencial de varias metaloenzimas de importancia fisiológica, tales como la lisil oxidasa, superóxido dismutasa, dopamina-β-hidroxilasa y la citocromo oxidasa; la cual participa en la reducción del oxígeno en agua, éste es el último paso de la respiración celular. [29]

Junto con el hierro, el cobre es necesario para la síntesis de hemoglobina. El cobre no se encuentra formando parte de la hemoglobina, pero una pequeña cantidad funciona como catalizador antes de que el cuerpo pueda emplear el hierro para la formación de hemoglobina.

Deficiencia

La anemia puede tener origen por deficiencia de cobre o hierro. Cuando se presenta por déficit de cobre, se asocia con retraso en la maduración y corta vida de los eritrocitos.

La deficiencia de cobre también provoca fallas en la formación de fibras trenzadas de colágeno y elastina, ya que éste es necesario para un buen funcionamiento de la lisil oxidasa (encargada de unir grupos hidroxilo a los residuos de lisina en el colágeno, permitiendo el trenzado entre las fibras de colágeno). El trenzado le confiere a las proteínas sus características de resistencia estructural y elasticidad. Un mal trenzado de las fibras de elastina provocan la aneurisma aórtica,

La acromotriquia (pérdida de pigmentación) es la principal manifestación de un déficit de cobre. Esta es comúnmente observada en el cabello y lana de los mamíferos,

La ingestión de vitamina C en altas dosis (alrededor de 600 mg/día) reduce la concentración de ceruplasmina en el suero y la ingestión de Zn en cantidades ligeramente mayores que la IDR reduce la retención de Cu. [36]

3.2.3 HIERRO (Fe)

Hierro, elemento de transición con peso atómico de 55.8, número atómico de 26, punto de fusión de 1535°C y punto de ebullición de 2750°C. Presenta dos estados de oxidación: 2+ y 3+; se puede encontrar formando óxidos, carbonatos, disulfuros, sulfatos, cloruros y algunos carbonilos. Las propiedades magnéticas del hierro son superiores a las del resto de los elementos.

Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD)

Tabla 17. Recomendaciones dietéticas diarias de Fe

GRUPO	EDAD (años)	mg	
Niños	0-6 meses	10	
	6-12 meses	10	
	1-10	15	
Mujeres	10-12	15	
	12-14	20	
	14-18	25	
	18-65	25	
	≥ 65	15	
	Cantidades adicionales durante		
	Embarazo	30	
	Lactancia	15	
Varones	10-25	15	
	25-65	15	
	≥ 65	15	

Fuente: [4]

Metabolismo

Absorción y Excreción

El contenido corporal de hierro es en los adultos de unos 3-4 g; la mayor parte de esta cantidad (aproximadamente 65%) se encuentra en la hemoglobina, el 10% en la mioglobina y el resto en el hígado, bazo, riñones, médula ósea y otros órganos. En un litro de sangre hay unos 500 mg de hierro. [35]

La absorción de Fe es afectada por 1) la edad, estado de las reservas de Fe y el estado de la salud del individuo; 2) condición del tracto intestinal; 3) la cantidad y la forma del Fe ingerido; y 4) las cantidades y proporciones de diversos componentes de la dieta, tanto orgánicos como inorgánicos. [30] El hierro alimenticio tiene tres fuentes principales: 1) hierro hemo (hierro orgánico) proveniente de la carne, 2) hierro no-hemo (hierro inorgánico) contenido en las verduras y 3) hierro no-hemo incorporado a los alimentos. El 20% del hierro de la carne es hierro hemo el cual se absorbe fácilmente, como media, hasta el 24% y otros componentes de la dieta no ejercen efecto alguno en su absorción. Sin embargo, el hierro hemo de la dieta sólo cubre el 10% de las necesidades totales de hierro. [35] Solamente el hierro inorgánico de la dieta se absorbe en cantidades que tienen significado nutritivo, y es mejor si se encuentra en forma

ferrosa (Fe^{2+}) que férrica (Fe^{3+}), por lo que la presencia de sustancias reductoras, como el ácido ascórbico (vitamina C) favorece su absorción. [17] La absorción de hierro-no hemo se ve influida por la ingesta de sustancias quelantes. El ácido ascórbico, como ya se menciona, promueve la absorción de Fe y el ácido etilendiamintetraacético (EDTA) inhibe su absorción. La histidina, lisina y cisteína incrementan la absorción de hierro en su forma ferrosa. Altos niveles de fósforo (P) en la dieta reducen la absorción de Fe, se presume que se debe a la formación de los compuestos insolubles fosfato y fitato férrico; en cambio ingestas altas de cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y cadmio (Cd) incrementan los requerimientos de Fe por la competencia de los sitios de absorción de la mucosa intestinal.

Los compuestos polifenólicos están ampliamente distribuidos en la dieta humana, siendo componentes de frutas, vegetales, especias, cereales, té, café, cocoa y vino tinto; estos compuestos son liberados del alimento o bebida durante la digestión intestinal y pueden formar complejos con el Fe imposibilitando su absorción. El compuesto fenólico presente en el café es el ácido clorogénico y en el té negro es un polímero formado por flavonoides, ácidos fenólicos o combinación de éstos.

El consumo de café y té negro promueven la inhibición de la absorción de Fe no-hemo, este efecto se observa claramente cuando se consume una comida ligera; por ejemplo café o té y pan o galletas, el café presenta un efecto inhibitorio menor que el té negro y la adición de leche a ambas bebidas no disminuye la inhibición; a su vez el vino tinto tiene menor efecto inhibitorio en comparación con las bebidas anteriores, sin embargo si se consume vino con una comida compuesta por carne y vegetales su efecto sobre el hierro-no hemo es casi nulo. [12]

Tabla 18. Factores de la dieta que influyen en la absorción de hierro

Hierro-Hemo	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estado de las reservas de Fe del individuo 2. Cantidad de hierro-hemo en la dieta (consumo de carne) 3. Contenido de calcio en los alimentos (evitar el consumo de alimentos altos en Ca cuando se consume alimentos altos en hierro, tales como la leche, queso, yogurt) 4. Preparación de los alimentos (tiempo y temperatura) 	
Hierro-No hemo	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estado de las reservas de Fe del individuo 2. Cantidad disponible de hierro-no hemo en el alimento (proveniente de una fortificación, enriquecimiento o contaminación) 3. Balance entre los factores de inhibición o incremento en la absorción 	
Factores de incremento	Factores de inhibición
<ol style="list-style-type: none"> 1. Presencia de ácido ascórbico (consumo de jugo de frutas, fruta, papas y algunos vegetales) 2. Consumo de carne, pescado, pollo y otros mariscos 3. Vegetales fermentados (por ejemplo el consumo de salsa de soya) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presencia de Fitatos y otros inositol fosfatos (consumo de productos de salvado, avena, arroz especialmente el no pulido y cereales) 2. Hierro unido a compuestos fenólicos (té, café, cocoa, ciertas especias y vino tinto) 3. Contenido de calcio en la dieta

Fuente: [8]

La absorción de Fe ocurre en dos pasos: absorción de iones ferrosos desde la luz intestinal hacia las células de la mucosa y transferencia desde las células de la mucosa hacia el plasma, donde se une a la transferrina para su transporte hacia los sitios de almacenamiento.

El hierro se absorbe principalmente en el intestino delgado, aunque una parte puede absorberse en el estómago. Al parecer el hierro de la dieta pasa al interior de las células del epitelio intestinal en forma de quelato con fructosa o sorbitol o con algunos aminoácidos. [17] Tras la absorción intestinal del hierro tiene lugar la síntesis de la ferritina y la incorporación de los átomos de hierro dentro de ella. Para utilizarlo en la síntesis de hemoproteínas, el hierro se va liberando poco a poco de la ferritina y es transportado por el plasma sanguíneo en forma de Fe^{3+} mediante una proteína específica, la transferrina. La ferritina actúa como reserva en las células de la mucosa, mientras que la transferrina actúa como vehículo en el transporte de Fe^{3+} a los tejidos. [29]

La velocidad a la que el hierro se libera desde las células epiteliales a la circulación general depende del estado de la transferrina en el plasma. Si la capacidad para ligar hierro de la transferrina está relativamente saturada se libera poco hierro desde el epitelio, pero si existe una cantidad relativamente grande de transferrina sin ligar aumenta la cantidad de Fe que pasa al plasma. Por lo tanto cuando el hierro de la transferrina alcanza un equilibrio con las reservas de hierro de la ferritina, la absorción cae al mínimo. De esta forma las necesidades del organismo afectan a la absorción de hierro desde el tracto intestinal. [17]

El Fe una vez absorbido no fácilmente se pierde, sólo sucede en caso de hemorragias. El hierro removido de la hemoglobina durante la lisis de los eritrocitos, es transportado al hígado y excretado por la bilis. La mayor parte del hierro de la bilis es reabsorbido y usado nuevamente en la formación de la hemoglobina.

El hierro excretado por la orina es solamente de 1 a 3 mg/día. En las heces la cantidad es superior pero una gran parte corresponde probablemente a Fe de la dieta no absorbido; también hay pérdidas a través de sudor, cabello y uñas.

Funciones Fisiológicas

El hierro juega un papel muy importante en un gran número de reacciones bioquímicas. Está presente en diversas enzimas responsables del transporte de electrones (citocromos), de la activación del oxígeno (oxidasas y oxigenasas) y del transporte de oxígeno (hemoglobina, mioglobina). El sistema de citocromos es una

serie de reacciones en las cuales ocurre una oxidación con producción de adenosin trifosfato (ATP) y agua. Además el metabolismo de las vitaminas B depende del hierro. Este elemento es un oxidante de las vitaminas A, C y E y acelera el enranciamiento (peroxidación de los lípidos) de los ácidos grasos de los alimentos y del cuerpo humano.

Tabla 19. Funciones biológicas del hierro

Presencia	Función Biológica
Formando complejos con las porfirinas	
Hemoglobina	Transporta oxígeno
Mioglobina	Transporta oxígeno
Citocromos	Reacciones redox catalizadas por enzimas
Peroxidasas	Reacciones redox catalizadas por enzimas
Catalasa	Reacciones redox catalizadas por enzimas
Hierro no hemínico	
Lipoxigenasas, ciclooxigenasas	Activación del oxígeno diatómico
Conglomerados hierro-azufre	Reacciones redox

Fuente: [32]

Deficiencia

La deficiencia de hierro produce anemia. La reducción del número de glóbulos rojos en la anemia puede ir acompañada de cambios en el tamaño de las células y de su contenido de hemoglobina. Los síntomas de la anemia son cansancio, pérdida de fuerza, nerviosismo y palidez. A menudo hay prurito cutáneo y el paciente se muestra pronto sin aliento. Los grupos más vulnerables son los adolescentes de ambos sexos, las mujeres en edad reproductiva y las embarazadas. Las pérdidas por hemorragias menstruales aumentan grandemente los requerimientos de la mujer. La mediana de las pérdidas de Fe promediadas a lo largo del ciclo es alrededor de 0.5 mg Fe/día, pero 25% de las mujeres pierden más de 0.8 mg Fe/día y 5% pierden más de 1.6 mg Fe/día.

Todos los mamíferos nacen con reservas de hierro, esto se debe a que durante la lactancia, cuando la leche, que contiene muy poco hierro, constituye el único alimento. Sin embargo, se puede presentar una anemia debido a tres factores: 1) la nutrición de su madre durante la gestación ha sido deficiente en hierro y no ha permitido al feto acumular reservas; 2) el parto ha sido prematuro, por lo que el feto no ha tenido tiempo de llegar al nivel normal de reserva, ya que el contenido de hierro del feto aumenta sobre todo en el último trimestre de la gestación; y 3) el número de recién nacidos es anormalmente alto, lo que hace disminuir el suplemento de hierro a cada uno de los bebés.

También es importante hacer notar que el hierro de la leche humana se absorbe con una eficiencia del orden de 50%, mientras que el de la leche de vaca sólo se absorbe en alrededor del 10%.

La carencia de hierro también aumenta el riesgo de contraer enfermedades infecciosas, dado que los mecanismos de defensa de los glóbulos blancos (linfocitos y granulocitos) se deterioran. Además la capacidad de los linfocitos T de reconocer a los virus, bacterias y células neoplásicas depende del hierro.

Es posible, si bien muy raro, que en los tejidos se acumule un exceso de hierro. Una de sus causas podría ser el excesivo número de glóbulos rojos, situación que se conoce como policitemia. También se acumula en los tejidos una cantidad excesiva de hierro en dos enfermedades raras, la hemosiderosis y la hemocromatosis. Las concentraciones muy altas de hierro en el organismo aumentan su sensibilidad a las enfermedades infecciosas. [35]

Generalmente se necesitan suplementos de hierro durante la gestación y en caso de anemia por falta de este elemento. Los comprimidos de hierro pueden ocasionar ciertos efectos secundarios como astringencia, diarrea y dolores gástricos, además le confieren a las heces un color negro. En los casos de anemia se necesita a menudo hasta seis meses para corregir el balance de hierro en el organismo, sin embargo puede necesitarse más tiempo o incluso resultar imposible corregir el déficit en presencia de menstruaciones excesivamente abundantes o de hemorragias internas por úlceras gástricas. Los antibióticos de amplio espectro, como por ejemplo, la doxiciclina, no deben tomarse junto con los suplementos de hierro ya que forman complejos insolubles con este metal. El hierro compite con el calcio (Ca) y magnesio (Mg) por lo que un suministro prolongado de suplementos de hierro puede dar lugar a una carencia de Ca y Mg.

Toxicidad

Intoxicación aguda: casi siempre es causada por ingesta excesiva de medicamentos con hierro y predomina en los niños. La toxicidad se manifiesta por vómitos una a seis horas de la ingestión. Los vómitos pueden ser sanguinolentos debido a las ulceraciones del tubo gástrico; las heces llegan a ser de color negro. Después hay signos de choque y acidosis metabólica, daño hepático y defectos de la coagulación en el transcurso de los siguientes dos días. Los efectos tardíos pueden incluir insuficiencia renal y cirrosis hepática. Se cree que el mecanismo de toxicidad empieza con daño agudo de células de la mucosa y absorción de iones ferrosos directamente a la circulación, lo que produce daño de células endoteliales capilares en el hígado. [15]

Intoxicación crónica: es más frecuente en adultos y hay tres maneras básicas en las cuales puede acumularse excesivamente el hierro. La primera es la hemocromatosis

idiopática debido a la absorción anormal del hierro a partir del tubo digestivo, puede ser de causa genética; la segunda es ingesta excesiva en la dieta. La tercera es por continuas transfusiones como tratamiento de anemia resistente a tratamiento, y en ocasiones se denomina siderosis transfusional.

El tratamiento de la intoxicación aguda se dirige hacia eliminar el hierro ingerido desde tubo digestivo induciendo el vómito o por medio de lavados gástricos y proporcionar tratamiento corrector para efectos sistémicos, como acidosis y choque. La desferrioxamina es el mejor quelante para el tratamiento de sobrecarga de hierro por exposición aguda, así como la eliminación de hierro en los tejidos en la hemosiderosis. La flebotomía repetida puede eliminar hasta 20 g de hierro al año. [15]

Por inhalación de humos o polvos de óxido de hierro, puede provocar depósitos de hierro en los pulmones, éste se presenta principalmente en trabajadores de industrias del hierro y acero, mineros y en soldadores.

Principales Fuentes Alimentarias

Las carnes, especialmente las rojas, son la principal fuente de hierro hemínico, cuya absorción es influenciada muy poco por otros componentes de la dieta y por el estado nutricional de hierro de la persona. El hierro no hemínico (también llamado inorgánico) se encuentra en leguminosas de grano, cereales, varias verduras y frutas. En algunos países los alimentos fortificados o enriquecidos con Fe, particularmente las fórmulas lácteas para infantes y las harinas de cereales, son una de las principales fuentes alimentarias del mineral.

El descortezado y molienda de granos, el refinamiento del azúcar y la extracción de aceites, pueden reducir el contenido de hierro hasta en 90%. También se puede perder Fe de los alimentos cocinados con agua cuando se descarta el agua de cocción. La cocción en recipientes de hierro o revestido con este metal, pueden aumentar el contenido del mineral en los alimentos. Esto y otras fuentes de contaminación con hierro son importantes, ya que pueden modificar el contenido de los alimentos en relación con las cifras de las tablas de composición de alimentos. [36]

3.2.4 MAGNESIO (Mg)

Metal alcalinotérreo, pertenece al grupo II A de la tabla periódica de los elementos. Con estado de oxidación de 2+, número atómico de 12, peso atómico de 24.37.

El Mg tiene diversos usos industriales. Se emplea en aleaciones ligeras, como un material conductor eléctrico y para dispositivos incendiarios, como bengalas.

Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD)

Tabla 20. Recomendaciones dietéticas diarias de Mg

GRUPO	EDAD (años)	mg	
Niños	0-6 meses	40	
	6-12 meses	60	
	1-4	80	
	4-10	120	
Mujeres	10-14	300	
	14-18	400	
	18-25	300	
	25-65	300	
	≥ 65	300	
	Cantidades adicionales durante		
	Embarazo		300
Lactancia		400	
Varones	10-14	350	
	14-18	400	
	18-25	350	
	25-65	350	
	≥ 65	350	

Fuente: [4]

Metabolismo

Absorción y Excreción

El cuerpo humano al momento de nacer contiene cerca de 760 mg de magnesio, 5 g a los 4-5 meses y 25g en la edad adulta. [24]

En el organismo humano hay 20-28 g de Mg cuyo 99% se localiza en el interior de las células, en donde regula diversos sistemas enzimáticos. La mayor parte del Mg se localiza en los huesos (69%) y en los músculos (20%), mientras que en los líquidos extracelulares, por ejemplo suero sanguíneo, sólo hay un 1%. [35] El Mg es absorbido a través del tracto digestivo y diversos factores dietéticos y fisiológicos influyen en su absorción. Por ejemplo se ha reportado que dosis farmacológicas de vitamina D incrementan la absorción de Mg; sin embargo, la retención de este mineral puede ser reducida por incremento de su excreción en orina. [30] Altos niveles de Ca y P en la dieta tienen un efecto negativo en la absorción de Mg; el Ca compite con el Mg por los sitios de absorción a través del intestino mientras que el P forma sales insolubles con el Mg.

El Mg se excreta en sudor, orina y heces y se secreta en la leche. La principal ruta de excreción del Mg en condiciones normales es la urinaria; el Mg se filtra en los glomérulos y se reabsorbe en los túbulos renales. El Mg se excreta hacia el tubo digestivo por medio de la bilis, saliva, jugo gástrico, jugo pancreático, secreciones intestinales y descamación intestinal. El Mg que se encuentra en heces probablemente no se reabsorbe.

Funciones Fisiológicas

El Mg interviene en diversas funciones fisiológicas. El Mg en el esqueleto es importante por la integridad de huesos y dientes. El Mg^{2+} es el segundo catión más abundante (después del K^+) en el fluido intracelular y sólo el 1% del Mg total se encuentra en el fluido extracelular (plasma sanguíneo y fluido intersticial), cuando el Mg extracelular declina muy por debajo de lo normal da por resultado serias afecciones como la tetania.

El Mg es un componente activo de diversos sistemas enzimáticos en los cuales el pirofosfato de tiamina (TPP thiamin pyrophosphate) es el cofactor. La fosforilación oxidativa se ve grandemente reducida en ausencia de este elemento. También es un activador esencial de la difosfopiridinenucleotido cinasa, creatina cinasa, ácido pirúvico carboxilasa, ácido pirúvico oxidasa y enzimas que intervienen en las reacciones en el ciclo de Krebs.

El Mg intracelular se asocia principalmente con la mitocondria. Su principal función es como activador de enzimas involucradas en el metabolismo de hidratos de carbono y lípidos. Es esencial en la respiración celular y en ciertos tejidos forma complejos con el adenosin trifosfato (ATP), adenosin difosfato (ADP) y adenosin monofosfato (AMP). Cuando falta magnesio se altera la permeabilidad celular, lo que provoca la salida de potasio y magnesio y la entrada de sodio y calcio. La entrada de sodio libera calcio de las mitocondrias y origina una sustancia, llamada AMP, que causa un aumento todavía mayor de la permeabilidad celular. El círculo vicioso así establecido lleva a la muerte celular.

El Mg también interviene en la síntesis de proteínas participando en la agregación ribosomal y en la unión del ácido ribonucleico mensajero (ARNm) y los ribosomas 70S; en la síntesis y degradación del ácido desoxiribonucleico (ADN) y en la formación del AMP cíclico. [29] El Mg extracelular puede actuar en forma sinérgica o antagónica con el Ca para mantener el potencial eléctrico de las membranas de nervios y músculos y para la transmisión de impulsos a través de las uniones neuromusculares.

La función muscular normal necesita la presencia de Mg; además es importante para el corazón y todo el sistema circulatorio ya que previene el aumento de la presión arterial.

Deficiencia

Los síntomas de una deficiencia dietética de Mg inducida experimentalmente en pacientes con cáncer oral son: náusea, debilidad muscular, alteraciones miográficas e irritabilidad. [38] La función cardíaca se ve afectada debido a los cambios de concentración de los iones Ca^{2+} , K^+ y Na^+ en los fluidos extracelular e intracelulares.

Una deficiencia de Mg se manifiesta clínicamente por un retraso en el crecimiento, hiperirritabilidad y tetania, vasodilatación periférica, anorexia, incoordinación muscular y convulsiones. Otras funciones fisiológicas que se ven afectadas son la respuesta inmune y alérgica, el tiempo de vida de las células rojas sanguíneas, metabolismo de los tejidos ricos en colágeno y el metabolismo del Na y K.

La deficiencia de magnesio usualmente es secundaria a mala absorción intestinal o diarrea profusa, desnutrición, alteraciones renales, o alimentación intragástrica o parenteral con mezclas deficientes en magnesio. [36]

Toxicidad

El óxido de magnesio puede causar fiebre por humo de metal si se inhala en cantidades suficientes. La conjuntivitis, la rinofaringitis crónica y la tos con producción de esputo de coloración normal sobrevienen por exposición a inhalación industrial.

La intoxicación luego de administrar sales de magnesio por vía oral es rara pero puede aparecer en personas con insuficiencia renal. Los síntomas incluyen una disminución precipitada de la presión arterial y parálisis respiratoria debida a depresión del sistema nervioso central.

Se sabe que la contaminación de los alimentos y las fuentes de agua con sales de magnesio es causa de hipermagnesemia (hypermagnesemia), náusea, hipotensión y diarrea. Ingestas de 380 mg de Mg como cloruro de magnesio (MgCl_2) han producido en mujeres los síntomas antes descritos. Los límites superiores tolerables sugeridos para el contenido de magnesio soluble en alimentos y agua son: 65mg y 110 mg para niños de 1 a 3 años y de 4 a 10 respectivamente y 350 mg para adolescentes y adultos. [8]

Principales Fuentes Alimentarias

- ☆ Nueces
- ☆ Leguminosas (frijoles, habas)
- ☆ Cereales (más del 80% del Mg de los cereales se pierde al desgerminarlos y quitarles sus capas externas)
- ☆ Vegetales verdes
- ☆ Pescados y mariscos

El Mg es más abundante en dietas con predominio de verduras, leguminosas y cereales sin refinar, que en dietas a base de alimentos refinados, carnes y lácteos. Las frutas tienen bajo contenido de magnesio.

3.2.5 MANGANESO (Mn)

El manganeso con número atómico de 25, peso atómico de 54.94, punto de fusión 1245°C, punto de ebullición 2097°C; presenta estados de oxidación de 0, 1+, 2+, 3+, 4+, 5+, 6+ y 7+. En sistemas biológicos los estados de oxidación más importantes son 2+ y 3+.

El Mn y sus compuestos se utilizan para fabricar baterías de pila seca, bobinas eléctricas, cerámica, fósforos (cerillos), vidrio, colorantes, fertilizantes y varillas para soldar. El manganeso también puede combinarse con carbono para producir compuestos orgánicos de manganeso. Algunos compuestos orgánicos de manganeso comunes incluyen pesticidas, tales como maneb o mancozeb, y metilciclopentadienil manganeso tricarbonil (MMT), un aditivo en ciertas gasolinas. [15]

Recomendaciones Dietéticas Diarias (RDD)

Tabla 21. Recomendaciones dietéticas diarias de Mn

GRUPO	EDAD (años)	mg
Niños	0-6 meses	0,1-0,6
	6-12 meses	0,1-1,0
	1-3	0,2-1,5
	3-7	0,3-2,0
	7-10	0,4-3,0
Mujeres	10-18	0,8-5,0
	18-25	1,4-5,0
	25-65	1,4-5,0
	≥ 65	1,4-5,0
Varones	10-18	0,8-5,0
	25-65	1,4-5,0
	≥65	1,4-5,0

Fuente: [4]

Metabolismo

Absorción y Excreción

El cuerpo humano adulto contiene 10-20 mg de Mn que se concentra preferentemente en el hígado, intestino grueso y riñón; alrededor del 25% está en los huesos.

La ingestión diaria de manganeso varía de 2 a 9 mg. La absorción gastrointestinal es de menos de 5%. El Mn se transporta en el plasma unido a una β -globulina, que se cree es transferrina, y se encuentra ampliamente distribuido en el organismo. Dicho elemento se concentra en las mitocondrias, de modo que los tejidos con alto contenido de estos organelos muestran las concentraciones más altas del metal, se puede mencionar al páncreas, hígado, riñones e intestinos. La vida media biológica en el organismo es de 37 días. [15] Las concentraciones de Mn en el cerebro humano son más altas en adultos (aproximadamente de 0.25 $\mu\text{g/g}$ peso húmedo) que en infantes

menores de un año de edad, ésto sugiere que el Mn es requerido para las funciones cerebrales [34]

Otros minerales que influyen en su absorción son, especialmente el Ca, P y Fe. [30] El aumento en la absorción intestinal de Mn está relacionado en el hombre con la absorción del hierro no hemínico y con el aumento en la incidencia de las deficiencias de hierro. [29] El Mn compite directamente con el Co y Fe por los sitios de unión; los excesos de Fe o Co pueden inducir la deficiencia de Mn y un exceso de Mn o Co pueden inducir deficiencia de Fe. [30]

El Mn ingerido es excretado principalmente en heces y su excreción urinaria es menor a 1µg/día y su eliminación aumenta en presencia del alcohol.

Se piensa que la bilis es la principal ruta de excreción de Mn, aunque también se excreta en sudor, cabello, placenta y leche.

Funciones Fisiológicas

Al igual que otros elementos indispensables, el manganeso tiene funciones de activador enzimático y como constituyente de metaloenzimas. Entre las enzimas que contienen Mn podemos mencionar la arginasa, piruvato carboxilasa (enzima tetramérica que contiene 4 átomos de Mn) y la Mn-superoxido dismutasa. Las enzimas que pueden ser activadas por Mn son numerosas, estas incluyen a las hidrolasas, cinasas, descarboxilasas y transferasas. En ocasiones el Mn puede ser sustituido por Mg con una pérdida menor de la actividad enzimática.

El Mn es necesario para la formación de los huesos, para el metabolismo de las grasas y de los carbohidratos y para la fertilidad.

Deficiencia

No se conocen enfermedades carencial asociadas al Mn, si bien en carencias experimentales se pueden presentar los siguientes síntomas: emaciación, exantemas y otros signos cutáneos y disminución del crecimiento del pelo. Se ha sospechado de una carencia de manganeso como factor coadyuvante de la diabetes y de la epilepsia, pero los datos aportados no se han confirmado en estudios debidamente controlados. [34]

Toxicidad

Las intoxicaciones en la industria por inhalación generalmente de dióxido de manganeso son agudas o crónicas. La primera tiene por resultado la neumonitis acompañada de necrosis epitelial y la otra produce manganismo el cual afecta al sistema nervioso central, produce un trastorno neuropsiquiátrico caracterizado por

irritabilidad, dificultades para caminar, alteraciones del habla y conducta compulsiva que puede incluir correr, pelear y cantar. Si el padecimiento persiste, aparece un síndrome parecido a la enfermedad de Parkinson.

La exposición a altos niveles de manganeso en el aire, como puede ocurrir en una fundición de manganeso o una planta de baterías, puede afectar la habilidad motora tal como mantener una mano inmóvil, la ejecución de rápidos movimientos manuales, y mantener el equilibrio. La exposición a altos niveles del metal también puede causar problemas respiratorios y alteración en la función sexual.

La EPA ha determinado que el manganeso no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos y ha establecido una norma voluntaria para el nivel de manganeso en agua potable de 0.05 miligramos por litro (0.05 mg/L).

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 5 miligramos de manganeso por metro cúbico de aire (5 mg/m³) en el aire del trabajo como promedio durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.[1]

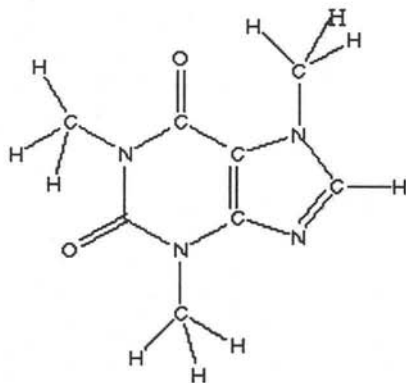
El Consejo Nacional de Investigación ha recomendado una ingesta diaria segura y adecuada de manganeso que fluctúa de 0.3 a 1 mg al día para niños de hasta 1 año, 1 a 2 mg al día para niños de hasta 10 años, y 2 a 5 mg al día para niños de 10 años y mayores.

Principales Fuentes Alimentarias

Las principales fuentes alimentarias de Mn son los cereales y sus productos derivados, y en segundo término los vegetales, porciones germinales de granos, frutas, frutos secos, té y algunas especias tienen alto contenido de manganeso. Los productos lácteos, incluyendo la leche humana contienen muy poco manganeso.

3.3 CAFEÍNA

1,3- trimetilxantina, principal alcaloide que forma parte de muchas bebidas, principalmente del té y café. Es soluble en agua y una taza de café contiene aproximadamente de 30 a 175 mg.



La ingestión de 85 a 250 mg de cafeína produce un aumento en la capacidad de reacción motora y mental; sin embargo, en pruebas que incluyen la coordinación muscular fina se ha observado que ésta puede verse afectada. Un exceso en el consumo de cafeína puede desencadenar

taquicardia; individuos sensibles pueden padecer arritmias debido a contracciones ventriculares prematuras. A medida que la dosis de cafeína aumenta se producen signos de estimulación progresiva del sistema nervioso central, incluyendo nerviosismo o ansiedad, insomnio y puede originar náusea y vómitos. La respuesta de hombres y mujeres a una dosis de 3.3 mg/Kg de cafeína (equivalente a 2 o 3 tazas de café) y ser sometidos a estrés mental es semejante; ambos sufren un incremento de presión sanguínea y descenso del ritmo cardíaco; sin embargo los hombres presentan a su vez un incremento en la resistencia vascular; aumentando el riesgo de hipertensión; en cambio la resistencia vascular en mujeres desciende teniendo una mejor respuesta vascular al estrés mental.[39]

Algunos estudios muestran un efecto negativo en el consumo de bebidas que contienen cafeína y la absorción intestinal de minerales; sin embargo otros mencionan que no existe relación alguna entre estos dos fenómenos. Se piensa que la cafeína puede ligar a diversos iones metálicos y alterar su balance en el cuerpo humano; probablemente esta interacción se lleva a cabo en los átomos de oxígeno ya que los átomos de nitrógeno se encuentran metilados y por lo tanto incapaces de reaccionar con otros grupos químicos. Comparando la capacidad de ligar iones metálicos, específicamente Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn y Zn, del EDTA y de la cafeína se encontró que esta última no liga a los iones metálicos en cantidad suficiente para alterar su balance en el cuerpo humano. [16]

También se ha relacionado la cafeína y/o el consumo excesivo de café con un incremento en el riesgo de sufrir fracturas y osteoporosis sin embargo estas enfermedades también están asociadas a la falta de ejercicio, una mala nutrición, consumo de alcohol y tabaquismo; por lo que es irresponsable decir que la única causa de estas afecciones es el consumo de café sabiendo que generalmente las enfermedades son originadas por todo un estilo de vida y/o factores genéticos heredados. Estudios recientes en ratas han demostrado que el consumo de café no interfiere en el metabolismo óseo; lo anterior coincide con lo reportado en experimentos realizados con hombres y mujeres de edad avanzada, es decir que la cafeína no afecta en la descalcificación de huesos longitudinales.

Además de la cafeína el café también contiene gran cantidad de taninos, que se cree que tienen efectos como antioxidantes, antimutación, acción antibiótica, antihipercolesterolemia, antihipertensión y acciones antiinflamatorias. [31]

Espectroscopía de absorción atómica

La historia de la espectroscopia atómica está relacionada con el estudio de luz solar. En 1802, Wollaston científico alemán reportó la presencia de regiones oscuras (líneas) en el espectro de la luz solar; estas líneas son conocidas como líneas Fraunhofer en honor al científico que dedicó mucho tiempo a su estudio. En 1820, se sugirió que las líneas Fraunhofer eran resultado del proceso de absorción que ocurría dentro de la atmósfera solar. Mas tarde, Kirchoff y Bunsen demostraron que la luz amarilla que emiten los compuestos de sodio al ponerse en contacto con una flama, es idéntica a la línea oscura "D" del espectro de la luz solar. Después de muchos estudios empleando el espectrómetro de Kirchoff se sugirió que cualquier material que pueda emitir luz a una longitud de onda dada puede también absorber luz a la misma longitud de onda.

La espectroscopia atómica moderna puede dividirse en tres principales técnicas, ésto en base al proceso empleado para generar, detectar y medir el elemento deseado. Estas técnicas son: la Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS por sus siglas en ingles) la cual mide la cantidad de luz absorbida por el elemento analizado, Emisión Atómica y Fluorescencia Atómica (AES y AFS por sus siglas en ingles respectivamente); ambas miden la cantidad de radiación emitida por los átomos que han sido llevados a estados de mayor energía (estados excitados).

La Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) fue descubierta independientemente por Walsh y Alkemade y Melatz a mediados de los 50's. La EAA involucra el estudio de la absorción de la energía radiante; generalmente en las regiones ultravioleta y visible del espectro electromagnético, por átomos libres en fase gaseosa. Los átomos absorben energía a una longitud de onda específica y pasan a un estado de transición de mayor energía. La intensidad de esta transición se relaciona con la concentración de los átomos en estado basal; si el número de átomos que se encuentran en la trayectoria del haz de luz aumenta, la cantidad de luz absorbida también aumenta. Se manejan átomos libres ya que sus espectros de absorción son caracterizados por líneas bien definidas, las cuales pueden relacionarse con cambios en niveles de energía; en cambio los espectros de absorción de especies poliatómicas al presentar múltiples niveles de energía se observan múltiples líneas de absorción las cuales pueden superponerse y no podríamos caracterizar adecuadamente el analito. [25]

Instrumentación

Esencialmente el espectrómetro de absorción atómica se divide en seis componentes principales: fuente de energía, sistema de introducción de la muestra (nebulizador), quemador y flama, monocromador, sistema de detección y lector.

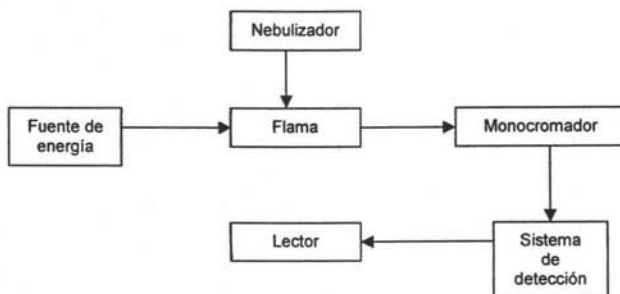


Figura 6. Diagrama de un espectrómetro de absorción atómica

1. Fuente de energía. La fuente de energía más ampliamente usada y aceptada en la Espectroscopia de Absorción Atómica es la lámpara de cátodo hueco (hollow cathode lamp o HCL) y la menos usada la lámpara de descarga sin electrodo (radiofrequency electrodeless discharge (EDL). La HCL posee un cátodo cilíndrico hueco hecho del elemento de interés y es llenada a una presión de 1 a 5 torr con un gas inerte; el cual puede ser argón, neón o helio. Al aplicar un potencial entre el cátodo y el ánodo de aproximadamente 500 V con una corriente eléctrica que va desde 2 hasta 30 mA el gas de llenado se ioniza, esta ionización se lleva a cabo en el ánodo, los iones producidos colisionan con el cátodo ocasionando que átomos del metal sean removidos; una vez removidos y tras varias colisiones con otras especies son llevados a un estado de mayor energía, debido a que este estado no es estable los átomos excitados emiten la energía absorbida en un espectro característico del analito regresando así a su estado basal. Como la mayoría de las emisiones se llevan a cabo dentro del cilindro, se puede decir que la luz emitida puede ser enfocada razonablemente. El haz de luz producido es dirigido a través de la ventana de la lámpara hecha de cuarzo o vidrio pirex que no interfieren

durante las mediciones en la región uv-visible. Entre más átomos sean excitados y emitan mayor será la intensidad del haz de luz producido.

Para cada elemento es necesaria una lámpara, ya que emite sólo el espectro específico del elemento del cual esta hecha; también existen algunas lámparas multielementales en donde el cátodo está hecho de dos o tres metales con propiedades similares.[32]

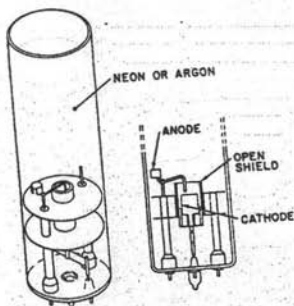


Figura 7. Lámpara de cátodo hueco

2. Nebulizador. En la cámara del nebulizador se lleva a cabo la mezcla de los gases empleados y son dirigidos hacia la cabeza del quemador; el flujo de los gases empleados produce una presión negativa al final de la salida del tubo capilar teniendo por resultado la succión de la muestra a través del capilar hacia la cámara del nebulizador, la muestra se aspira a un flujo de 2 a 6 mL/min y se encuentra en forma de aerosol dentro de la cámara, con gotas de diferente tamaño. Se emplean una esfera de impacto o un reflector de flujo para romper las gotas e incrementar la turbulencia en el flujo. Las gotas de mayor tamaño chocan con las paredes de la cámara o con el reflector de flujo y condensan; al condensar son drenadas y desechadas. El flujo turbulento arrastra las gotas de menor tamaño y las lleva a la cabeza del quemador. Resumiendo, las funciones del nebulizador son succionar la muestra a un flujo constante, crear un aerosol fino de la muestra y llevar a cabo la mezcla de los gases para su introducción al quemador.[7,11]

Perkin Elmer® proporciona dos variedades de nebulizadores que pueden ser empleados en el análisis, el nebulizador universal y el nebulizador de alta eficiencia; el primero se recomienda para el análisis de muestras que presenten concentraciones intermedias y su matriz no sea compleja; el segundo se emplea

para el análisis de muestras con bajas concentraciones y matrices complejas que requieran límites de detección muy pequeños. La diferencia consiste en que el segundo tiene integrada una esfera de impacto la cual mejora y hace más eficiente el proceso de nebulización.

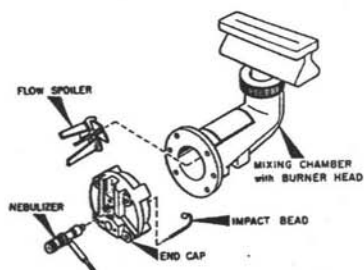


Figura 8. Nebulizador y quemador

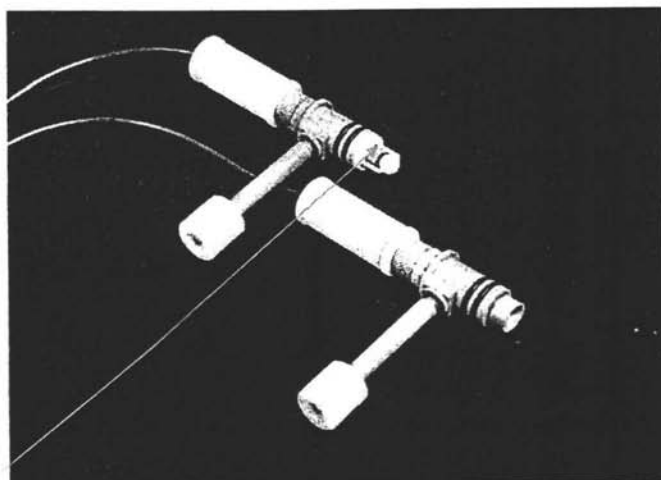


Figura 9. Nebulizador de alta eficiencia y nebulizador universal.

Esfera de impacto
integrada
al
nebulizador
de
alta eficiencia.

-
-
3. Quemador y flama. En absorción atómica, la única función de la flama es convertir el aerosol de la muestra, proveniente del nebulizador en vapor atómico el cual puede absorber la luz proveniente de la lámpara; mientras que en emisión atómica además de convertir la muestra en vapor atómico, la alta temperatura lleva a los átomos a un nivel de energía mayor.

Los combustibles más empleados en absorción atómica son aire-acetileno (el aire actúa como oxidante y el acetileno como combustible) y óxido nitroso-acetileno (en este caso el óxido nitroso es el oxidante), otras flamas pueden emplear aire-hidrógeno y argón-hidrógeno-aire. La mezcla aire-acetileno se emplea en la determinación de aproximadamente 35 elementos y se alcanza una temperatura de aproximadamente 2300°C. En cambio el óxido nitroso-acetileno alcanza una temperatura de 2900°C y se emplea en la determinación de elementos que pueden formar óxidos refractarios.[25,26]

4. Monocromador. La principal función del monocromador en EAA es aislar la longitud de onda de interés de otras longitudes emitidas en la flama o en la lámpara por otros elementos. Un monocromador es un dispositivo que dispersa un haz de radiación policromático en las longitudes de onda que lo componen. Todos los monocromadores poseen una rendija de entrada, un espejo colimador (o algunas veces lentes) para lograr un haz de radiación paralelo, un prisma o red de difracción como elemento dispersante, y un espejo focalizador o lentes que proyectan una serie de imágenes rectangulares de la rendija de entrada sobre una superficie plana (plano focal). Además, la mayoría de los monocromadores tienen ventanas de entrada y salida que se diseñan para proteger a los distintos componentes, del polvo y vapores corrosivos del laboratorio. [33]

5. Sistema de detección. El sistema de detección usado más ampliamente es el tubo fotomultiplicador (photomultiplier tube, PMT). Un fototubo contiene un cátodo semicilíndrico, que emite electrones cuando se expone a la radiación. El tubo además contiene unos electrodos adicionales, denominados dínodos. El primer dínodo se mantiene a un potencial de 90V más positivo que el cátodo, y como consecuencia, los fotoelectrones son acelerados hacia él. Cada fotoelectrón que incide sobre el dínodo provoca la emisión de numerosos electrones adicionales; los electrones emitidos son, a su vez, acelerados hacia el segundo dínodo, que es 90V más positivo que el primer dínodo. De nuevo, se emiten numerosos electrones por cada electrón que incide sobre el segundo dínodo. Cuando el proceso se ha

repetido nueve veces, se han generado de 10^6 a 10^7 electrones por cada fotón que originalmente incide sobre el cátodo; esta cascada se recoge finalmente en el ánodo. La corriente resultante se hace pasar a través de una resistencia R y posteriormente puede ser amplificada y medida. Un tubo fotomultiplicador puede ser utilizado para medir potenciales radiantes bajos, ya que una luz intensa provocaría cambios irreversibles en su funcionamiento. Por esta razón, el dispositivo está dentro de un compartimiento oscuro y se ha de tener cuidado de evitar la posibilidad de que quede expuesto, incluso momentáneamente, a la luz intensa. [33]

La muestra se succiona y cuando los átomos del analito se encuentran en la flama, absorben una pequeña parte de la luz proveniente de la lámpara; esto causa una disminución de la señal inicial que es proporcional a la cantidad de analito presente. El PMT mide ambas señales y efectúa la relación de ellas. Posteriormente esta señal se transforma en unidades de absorbancia, transmitancia o concentración.

6. Lector. Anteriormente los equipos de absorción atómica contaban con medidores con escalas calibradas donde se leían las mediciones realizadas; ahora los equipos incluyen computadoras con "software" o programas que permiten realizar gráficos y cálculos estadísticos al momento de llevarse a cabo el análisis de las muestras.

Usos Generales

- ☆ Cuantificación de 70 elementos en casi todo tipo de muestra
- ☆ Detecciones de concentraciones tan bajas como partes por billón (ppb) y tan altas como por ciento en peso con una mínima o nula preparación de la muestra.
- ☆ Técnica bien establecida y aceptada

Aplicaciones Comunes

- ☆ Pruebas bioquímicas, médicas y clínicas (sangre, orina, tejidos, cabello, dientes, uñas)
- ☆ Muestras ambientales, estudios de contaminación (agua, sedimentos, aire)
- ☆ Industria acerera y metalúrgica
- ☆ Industria Farmacéutica
- ☆ Industria de Alimentos

Muestras

Casi cualquier muestra sólida o líquida puede ser analizada; todas las muestras son convertidas en soluciones homogéneas antes de analizar.

Las muestras en fase acuosa pueden ser analizadas directamente; muestras complejas como la sangre debe ser diluida antes del análisis para reducir la interferencia durante el análisis. Muestras sólidas deben ser disueltas o digeridas empleando reactivos de grado analítico o ultrapuros dependiendo de la concentración del elemento a analizar. En general se manejan volúmenes de mL o μL si se emplea el horno de grafito, sin embargo si empleamos flama se necesitan volúmenes mayores (varios mililitros).

El análisis de la muestra está unido al tiempo de preparación de la misma, y en ocasiones la preparación es un poco tardada, podríamos manejar un intervalo de varios segundos a 24 horas dependiendo del procedimiento a seguir. Una vez tratada la muestra y realizada la calibración del equipo, podemos decir que la determinación se realiza en aproximadamente 10 segundos en flama y aproximadamente 2 minutos en horno de grafito.

Limitantes

- ☆ No proporciona información de la forma química del metal
- ☆ La preparación de las muestras en ocasiones es tardada
- ☆ Técnica destructiva de la muestra
- ☆ Se analiza un elemento a la vez, por lo que si se desea leer diversos elementos en más de una muestra se torna lento y pesado el análisis.
- ☆ Uso de una lámpara diferente por cada elemento a cuantificar.

Ventajas

- ☆ Análisis económico, menor con el uso de gases e inversión inicial en comparación con otras técnicas como la espectroscopía de emisión atómica acoplada a plasma. (ICP-OES).
- ☆ Rápido aprendizaje de la técnica y fácil manejo del equipo.
- ☆ Determinación rápida del analito, una vez tratada la muestra aproximadamente 10 segundos.

Exactitud

Depende de la complejidad de la matriz. Una solución homogénea de concentración del analito por arriba de 5 a 10 veces del límite de detección dará una exactitud de $\pm 1\%$.

Intervalo de linealidad

El intervalo de linealidad generalmente es de 2 a 3 órdenes por arriba del límite de detección, empleando el software adecuado éste se puede ampliar. [32]

5. Metodología experimental

5.1 EXPERIMENTOS PREVIOS

Durante los experimentos previos se realizaron los siguientes tratamientos a la muestra: una lixiviación ácida a diferentes tiempos y temperaturas y una lixiviación con agua caliente haciendo uso de una cafetera de uso doméstico empleando filtros de papel y metal. Para conocer la concentración de los elementos se realizó una lectura preliminar en un Espectrómetro de Absorción Atómica con flama y la lectura final en un Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplado a Plasma (ICP-OES).

5.1.1. LIXIVIACIÓN ÁCIDA Y LIXIVIACIÓN CON AGUA CALIENTE

Se tenía por objetivo la determinación de 14 elementos (Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn) de importancia nutricional y toxicológica presentes en café tostado y molido de origen mexicano empleando un Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplado a Plasma (ICP-OES). Estudios previos (ref. 20 y 21) habían reportado la presencia de estos metales en café verde y café tostado originario de diversas regiones en las que se puede mencionar a Honduras, Guatemala, Brasil, Colombia, Tailandia, Camerún y Uganda; sin embargo el café mexicano no tenía mención en estos estudios; por tal motivo se decidió realizar la determinación en café tostado y molido de origen mexicano.

La muestra, en este caso fue café arábica (caracolillo) molido fino "Villarias" comprado en la calle de López # 68, Centro; se sometió a un proceso de secado hasta peso constante para lo cual se empleó una estufa marca Heraeus modelo RB360 a 103°C.

De acuerdo con la bibliografía [21 y 22], se llevó a cabo una lixiviación ácida en caliente de 1g de café seco, empleando 10 mL de una mezcla de H_2SO_4 y HNO_3 en proporción 1:4. Como no se mencionan condiciones de tiempo y temperatura se procedió a realizar experimentos variando el tiempo de calentamiento en 15, 30, 60, 90 y 120 minutos a una temperatura de 45°C. La lixiviación se realizó por triplicado teniendo como blanco los reactivos empleados; los blancos y el café lixiviado se vierten en matraces aforados de 50 mL y se llevan al aforo con H_2O destilada-desionizada. Posteriormente se filtran empleando filtros de papel para café y todo tipo de cafeteras, marca "Santa Fe" de 3/4" base. Para conocer el tiempo óptimo de lixiviación se procedió a analizar los 14 elementos (Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn) en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer

2380 Atomic Absorption Spectrophotometer). Se decidió realizar lecturas preliminares en un Espectrómetro de Absorción Atómica por las siguientes razones: el equipo se encuentra disponible en el laboratorio por lo que se puede emplear prácticamente en cualquier momento y cuantas veces sea necesario, es de fácil manejo y los gastos de gas son menores a pesar de que el análisis de las muestras lleva más tiempo en comparación con el Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplado a Plasma (ICP-OES). Además es necesario tener idea de la concentración en la que se encuentran los elementos a analizar para poder elaborar curvas patrón adecuadas. Antes de realizar las lecturas es necesario preparar el equipo de la siguiente manera:

1. Preparar 50 mL de solución para verificar la sensibilidad "sensitivity check" para cada elemento;
2. Elección de condiciones del equipo para cada elemento. Ver la tabla # 22
3. Optimización del equipo; orientar correctamente el quemador y la lámpara, regular el flujo de entrada de la muestra hacia el nebulizador y la relación de los gases empleados.
4. Ajustar a cero con H₂O destilada-desionizada.
5. Lectura de solución "sensitivity check", la cual debe dar una absorbancia aproximada de 0.200, de lo contrario se procede a optimizar de nuevo el equipo como en el paso 3 hasta obtener la lectura más alta cercana a 0.200;
6. Lectura del blanco
7. Lectura de muestras. Si la absorbancia de las muestras es de cero o cercana a cero, se realizan las lecturas con expansión de escala de 2 y se lee directamente en unidades de concentración.
8. Repetir los pasos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 al cambiar el elemento a determinar

Tabla 22. Condiciones del espectro de absorción atómica para cada elemento

Elemento	λ (nm)	Slit	Sensitivity Check (mg / L)	Reflector de flujo o Esfera de impacto	Gases	Condiciones Especiales
Ba	553.6	0.4	0.46	Reflector de flujo	Oxido nitroso-acetileno	Adicionar al blanco y muestra 0.1% o más de KCl, la flama debe ser de color rojo
Ca	422.7	0.7	50	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Cd				Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Co	240.7	0.2	4.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Cr	357.9	0.7	20	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Flama debe ser de color amarillo
Cu	324.8	0.7	2.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Fe	248.3	0.2	2.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
K	404.4	0.7	350	Reflector de flujo	Aire-acetileno	Adicionar al blanco y muestra 0.1% o más de CsCl

Elemento	λ (nm)	Slit	Sensitivity Check (mg / L)	Reflector de flujo o Esfera de impacto	Gases	Condiciones Especiales
Mg	285.2	0.7	0.1	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Mn	279.5	0.2	1.5	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Na	330.2	0.7	80	Reflector de flujo	Aire-acetileno	Adicionar al blanco y muestra 2000 ppm de KCl
Ni	232.0	0.2	3	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Pb	217.0	0.7	4.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-
Zn	213.9	0.7	0.5	Esfera de impacto	Aire-acetileno	-

Con base en los resultados se eligió como tiempo óptimo de lixiviación 60 min; a este tiempo se obtenían los valores de concentración más altos de la mayoría de los elementos y en especial aquellos que tienen un efecto tóxico en el ser humano. Por lo que ahora se procedió a variar la temperatura de lixiviación ácida a 35, 45, 55, 65 y 75°C. La lixiviación se realizó por triplicado y teniendo como blanco los reactivos utilizados. Una vez transcurrido el tiempo, los blancos y el café lixiviado se vierten en matraces de 50 mL y se llevan al aforo con H₂O destilada-desionizada, se filtran empleando los filtros de cafetera ya mencionados y se realiza la lectura de los 14 elementos en el Espectrómetro de Absorción Atómica.

Considerando la forma en que consumimos el café, se decidió realizar una lixiviación con agua caliente, para ésto se empleó una cafetera de marca "Solea Moulinex", 12.5400g de café seco y 580 mL de H₂O destilada-desionizada. Se varió el tipo de filtro empleado para saber si el uso de filtro de papel o metal influía en la cantidad de elemento extraído. Se preparó un blanco para cada tipo de filtro. Se procedió a analizar los 14 elementos elegidos en la bebida de café obtenida en el mismo equipo de Absorción Atómica.

Conocida la absorbancia de las muestras se calculó su concentración, teniendo como referencia la absorbancia y concentración de la solución "sensitivity check".

Ejemplo de cálculo:

Solución "Sensitivity Check" para Zn

Muestra: 15'A

Concentración: 0.5 ppm

Absorbancia : 0.117

Absorbancia : 0.203

Concentración : X

$$0.203 \text{ ----- } 0.5 \text{ ppm}$$

$$0.117 \text{ ----- } X=0.2881 \text{ ppm}$$

Calculada la concentración de cada elemento en todas las muestras se realizó un análisis de los resultados, seleccionando el valor más pequeño y el más elevado como referencia para la elaboración de curvas patrón.

Las curvas patrón cuentan con 5 estándares (E) y son las siguientes:

Tabla 23. Curvas patrón

Elemento	E 1 mg/L	E 2 mg/L	E 3 mg/L	E 4 mg/L	E 5 mg/L
Ba	0.05	0.021	0.37	0.53	0.7
Ca	0.09	6.0	12.0	18.0	24.0
Cd	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08
Co	0.12	0.16	0.21	0.25	0.3
Cr	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08
Cu	0.03	0.06	0.12	0.25	0.5
Fe	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3
K	200	300	400	500	600
Mg	20	40	60	80	100
Mn	0.1	0.22	0.43	0.64	0.85
Na	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Ni	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Pb	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Zn	0.01	0.13	0.25	0.37	0.5

Como se contaba con un gran número de muestras (alrededor de 42) y no era posible analizar todas las muestras en el Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplado a Plasma se realizó una selección de la siguiente manera: de la primera lixiviación ácida (variación de tiempo) se eligió una serie completa; de la segunda lixiviación ácida (variación de temperatura) se eligieron una muestra de 45°C y una de 55°C con su respectivo blanco. La elección de estas temperaturas fue porque en ellas se obtenían los valores más altos de concentración de la mayoría de los elementos y principalmente los metales de importancia toxicológica. En cuanto a la lixiviación con agua se eligieron ambas series; siendo las muestras para analizar en ICP-OES las siguientes:

Tabla 24. Muestras analizadas en ICP-OES

Procedimiento	Muestras Seleccionadas				
	Blanco 15 minutos 45°C	Blanco 30 minutos 45°C	Blanco 60 minutos 45°C	Blanco 90 minutos 45°C	Blanco 120 minutos 45°C
Lixiviación ácida variando tiempo	Muestra 15 minutos 45°C	Muestra 30 minutos 45°C	Muestra 60 minutos 45°C	Muestra 90 minutos 45°C	Muestra 120 minutos 45°C
Lixiviación ácida variando temperatura	Blanco 60 minutos 45°C	Muestra 60 minutos 45°C	Blanco 60 minutos 55°C	Muestra 60 minutos 55°C	-
Lixiviación con agua variando tipo de filtro	Blanco Filtro de Papel	Muestra Filtro de Papel	Blanco Filtro de metal	Muestra Filtro de Metal	-

Se empleó un ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emisión Spectrometer, Optima 4300DV, PerKin Elmer Instruments), el equipo se encuentra en el edificio D de

la Facultad de Química. El método programado con anterioridad, lee por triplicado cada muestra y en 3 longitudes de onda cada elemento.

Condiciones del equipo: Flujo de gas en plasma 15 L/min, en auxiliar 0.2 L/min y en nebulizador 0.80 L/min, tipo de nebulizador: nebulizador para altos sólidos (High solid gem cone for samples with high dissolved solid, up to 20%), bomba peristáltica 2.5 mL/min, RF power 1300 y se emplea gas argón. Los elementos se pueden leer en visión axial o radial, únicamente Ba por la alta sensibilidad del equipo, Mg y K por su alta concentración se leyeron en forma radial, el resto de los elementos se leyeron en forma axial.

Para todos los resultados, ver el capítulo 6 tablas número 33, 34 y 35.

5.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Debido a un falla en el funcionamiento del ICP-OES y que su compostura tomaría más tiempo del esperado se decidió trabajar con el Espectrómetro de Absorción Atómica con flama por lo que se tuvo que reducir el número de metales a cuantificar. Se eliminaron aquellos que fueron no detectables o bien que su concentración es muy baja, a los que era necesario adicionar otro reactivo o modificar el equipo o cambiar de gases para hacer posible su detección y por último a aquellos que las lámparas con las que se contaba no estuvieran en óptimas condiciones; por lo que al final se decidió cuantificar únicamente 5 elementos de importancia nutrimental los cuales son el cinc, cobre, hierro, magnesio y manganeso. Además de realizar la lixiviación con agua empleando únicamente filtros de papel y una digestión en Horno de Microondas.

5.2.1 CONCENTRACIÓN DE LA BEBIDA DE CAFÉ Y USO DE NEBULIZADOR DE ALTA EFICIENCIA.

Al realizar los experimentos previos en el Espectrómetro de Absorción Atómica con flama nos dimos cuenta que en las muestras lixiviadas con agua la absorbancia del Cu, Zn y en especial del Fe eran pequeñas por lo que se concentró la bebida de café y se empleó un nebulizador de alta eficiencia.

Se realizaron los siguientes experimentos para encontrar la cantidad máxima de café empleando el mínimo de agua en la cafetera, para obtener una solución lo suficientemente concentrada para poder determinar los elementos seleccionados por EAA con flama.

Tabla 25. Concentración de la bebida de café

Muestra (g)	Volumen en mL de H ₂ O destilada-desionizada				
30	580	290	200	145	73
15	580	290	200	145	73

De acuerdo con los resultados obtenidos (ver tabla 36, capítulo 6) se decidió emplear un volumen de 290 mL que corresponde con la marca de 3 tazas chicas o 2 tazas grandes y 30 g de café, considerando que se recomienda el uso de 5 a 7 g de café por cada taza, (el café espresso requiere 7 o más gramos) [30] se tiene la cantidad para 6 tazas de café. Preparando de esta manera la bebida de café se realizó la lectura de la absorbancia de los 3 elementos variando el nebulizador del Espectrómetro de Absorción Atómica. Con base en los resultados obtenidos (ver tabla 37, capítulo 6) se decidió emplear el nebulizador de alta eficiencia para realizar la cuantificación de Cu, Fe, y Zn; de esta manera el experimento queda diseñado de la siguiente forma: se realizará la cuantificación de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en café tostado y molido de origen mexicano digerido en Horno de Microondas y lixiviado con agua caliente en una cafetera de uso doméstico con filtro de papel. En el caso de Cu, Fe y Zn se hará uso del nebulizador de alta eficiencia y para el Mg y Mn un nebulizador universal con esfera de impacto.

5.2.2 LÍMITES DE DETECCIÓN (LDD) Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN (LDC)

1. Preparación de solución para verificar la sensibilidad "sensitivity check", optimización del equipo y condiciones de análisis de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 26. Condiciones del espectro de absorción atómica para cada elemento

Elemento	λ (nm)	Slit	Sensitivity Check (mg / L)	Reflector de flujo o Esfera de impacto	Gases	Condiciones Especiales
Cu	324.8	0.7	2.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Uso de nebulizador de alta eficiencia
Fe	248.3	0.2	2.0	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Uso de nebulizador de alta eficiencia -
Mg	285.2	0.7	0.1	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Uso de nebulizador universal
Mn	279.5	0.2	1.5	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Uso de nebulizador universal
Zn	213.9	0.7	0.5	Esfera de impacto	Aire-acetileno	Uso de nebulizador de alta eficiencia

2. Preparación de estándares (E) y lectura de las curvas de calibración. La curva de calibración se elabora con 5 estándares y se preparan 3 juegos de cada uno por

separado de acuerdo con la tabla 27; se leerá por triplicado cada juego de estándares y 3 réplicas por cada punto. Si el coeficiente de linealidad (r^2) es mayor o igual a 0.999 pasar al siguiente punto, en caso contrario regresar al primer punto. Se recomienda que para la preparación de cada juego de estándares se emplee la misma micropipeta preparando si es necesario diluciones intermedias. De cada elemento se cuenta con un estándar comercial de 1000 mg/L de marca Perkin Elmer y a partir de éste se preparan las diluciones necesarias para preparar los puntos de la curva de calibración.

Tabla 27. Estándares para la preparación de curvas de calibración

Elemento	E 1(mg/L)	E 2(mg/L)	E 3 (mg/L)	E 4 (mg/L)	E 5 (mg/L)
Cu	0.05	0.1	0.3	0.5	0.7
Fe	0.15	0.45	0.9	1.35	1.8
Mg	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Mn	0.1	0.3	0.6	0.9	1.2
Zn	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4

3. Leer nuevamente los 3 juegos de estándares en 3 días diferentes; por ejemplo lunes, miércoles y viernes; si el coeficiente de linealidad (r^2) es mayor o igual a 0.999 pasar al siguiente punto.
4. Una vez realizadas todas las lecturas introducir los datos en el programa de Análisis de Curvas de Calibración Espectrofotométricas y obtener el LDC y LDD de cada elemento. (ver tablas de la 38 a la 47, capítulo 6)

5.2.3 PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN

Preparar una solución de 10 veces el LDC (punto α), preparar 2 soluciones más cuyos valores se encuentren entre la mitad de la curva (punto β) y otro valor mayor (punto γ) pero que no sobrepasen el intervalo lineal del elemento. Considerando el intervalo de linealidad de cada elemento y después de algunos experimentos se decidió preparar los siguientes puntos:

Tabla 28. Estándares para calcular el % de recuperación

Elementos	Intervalo de linealidad (mg/L)	Punto α (mg/L)	Punto β (mg/L)	Punto γ (mg/L)
Cu	2.0	0.3	0.5	0.7
Fe	2.0	0.45	0.9	1.8
Mg	0.5	0.2	0.4	0.6
Mn	2.0	0.6	1.2	1.8
Zn	0.8	0.2	0.4	0.8

-
-
1. Leer nuevamente las curvas de calibración y al final de cada curva se leerán los puntos α , β , y γ ; se leerá por triplicado cada curva de calibración y 3 réplicas por cada punto. La recuperación debe ser mayor del 90% y menor al 110%.

5.2.4 METODOLOGÍA DE DIGESTIÓN EN HORNO DE MICROONDAS

Para evitar la contaminación todo el material de vidrio y plástico empleado se debe lavar perfectamente con jabón no iónico (extran) y agua corriente, posteriormente se sumerge en ácido nítrico (HNO_3) al 10% por 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se enjuaga perfectamente con H_2O destilada-desionizada. Los vasos del horno de microondas son de un material especial llamado fluoroplástico (TFM) por lo que tienen un procedimiento especial de limpieza PAAR007H.

Se empleó un Horno de Microondas PARR Perkin Elmer, el cual presenta el método PAAR002H para la digestión de granos de café con las siguientes características:

Peso de muestra:	Reactivo 1: HNO_3 :	Reactivo 2: H_2O_2 :	2	Tiempo	de
0.3 g	3 mL	mL		digestión:	35 min

Se pesan 0.3 g de muestra que se encuentra a peso constante en los vasos de TFM, se adicionan los reactivos, se tapan y se colocan en el carrusel; se enciende el equipo y se selecciona el método a utilizar, se coloca el carrusel dentro del horno verificando que éste gire adecuadamente, se cierra la puerta y se pulsa el botón de "ENTER" y el programa comienza. Una vez transcurrido el tiempo de digestión y alcanzada la temperatura de seguridad (60°C) se saca el carrusel del horno se lleva a la campana de extracción se abre el carrusel y los vasos de las muestras. El digerido se vierte a un matraz de 10 mL y se afora con H_2O destilada-desionizada.

5.2.5 INTERFERENCIA DE MATRIZ

Para realizar la validación de la metodología es necesario un material de referencia certificado, pero como no contamos con este tipo de material se decidió realizar por duplicado 2 adiciones, una de alta concentración y otra de baja concentración en 2 muestras elegidas al azar. Como no se sabía si al aforar el digerido a 10 mL la matriz podría generar interferencia en el momento de tomar la lectura de absorbancia se realizó el siguiente experimento para encontrar el volumen óptimo.

1. Digerir en el horno de microondas una muestra elegida al azar y aforar a 10 mL con H₂O destilada-desionizada (solución A).
2. Preparar una solución B de concentración conocida de los metales a analizar de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 29. Concentración de los elementos para conocer la interferencia de matriz (solución B)

Solución mg/L	Elementos				
	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
	0.50	0.50	0.25	0.50	0.40

3. Preparar la solución C de la siguiente manera: en un tubo aforado de 2mL adicionar el volumen requerido del estándar de 1000 mg/L o de una dilución intermedia para obtener las concentraciones de la tabla 29 y aforar con la solución A.
4. Preparar solución para verificar la sensibilidad "sensitivity check", optimización del equipo y condiciones de análisis de acuerdo a la tabla 26.
5. Realizar 3 réplicas de la absorbancia de la solución A.
6. Realizar 3 réplicas de la absorbancia de la solución B de concentración conocida.
7. Realizar 3 réplicas de la absorbancia de la solución C; si NO existe interferencia de matriz las absorbancias deben ser aditivas; en el caso de que la suma de las absorbancias de la solución A y B no corresponda a la absorbancia de la solución C se dice que SI existe interferencia de matriz.

En el caso del hierro y manganeso la suma de absorbancias no se cumple (ver tabla 49, capítulo 6) por lo que se procedió a realizar una dilución 1:1 para obtener la solución D y con ésta dilución se prepara la solución E de la siguiente manera: en un tubo aforado de 2mL adicionar el volumen requerido del estándar de 1000 mg/L. o de una dilución intermedia para obtener la misma concentración de la tabla 29 y aforar con la solución D. En el caso del magnesio desde el inicio se utilizó la dilución 0.100mL/25 mL debido a su alta concentración.

Para conocer la interferencia de matriz se emplearán los resultados de las muestras adicionadas.

5.2.6 VALIDACIÓN DEL MÉTODO.

Una vez conocida la interferencia y cómo podíamos eliminarla se procedió a realizar las adiciones de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 30. Muestras y concentraciones adicionadas.

Marcas	Elementos									
	Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Mg (mg/L)		Mn (mg/L)		Zn (mg/L)	
Garat	0.1	0.2	0.4	0.8	.025	.05	0.15	0.3	0.04	0.08
Export	0.1	0.2	0.4	0.8	.025	.05	0.15	0.3	0.04	0.08

Las muestras y las muestras adicionadas se digirieron y se aforaron a 25 mL. Los resultados se encuentran en las tablas 50 y 51 del capítulo 6.

5.2.7 CUANTIFICACIÓN DE METALES TRAZA

Las muestras empleadas en este experimento y sus características se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 31. Muestras analizadas

Marca	Presentación	Tipo de molido	Lote	Consumo preferente	Especie	Origen
1. Altea, tueste europeo gourmet	Bolsa de 500 g	Mediano	H-10603	Jun 2004	Café arábigo	Veracruz, Chiapas y Oaxaca
2. Blasón gourmet americano	Bolsa de 500 g	Mediano	A-6790	11-2004	Café arábigo,	Oaxaca
3. Blason gourmet espresso	Bolsa de 500 g	Fino	A-E789	11-2004	Café arábigo	Oaxaca
4. Café La selva	Venta a granel	Mediano	-	-	-	Chiapas, café orgánico
5. Comercial Mexicana, tueste medio	Bolsa de 500 g	Mediano	H12103	Jun-2004	-	Veracruz, Chiapas y Oaxaca
6. El Jarocho	Venta a granel	Fino	-	-	Café arábigo	Veracruz
7. El Marino, café puro tostado y molido	Bolsa de 500 g	Mediano	216	04-08-04	-	-
8. Export, mezcla americana	Bolsa de 500 g	Mediano	F-11603	Abr-2004	-	-
9. Garat, regular	Bolsa de 454g	Mediano	03350	16-12-04	-	-
10. Internacional	Bolsa 500g	Mediano	4133	Mar 05	Café arábigo	Veracruz
11. La Tampiqueña	Bolsas de 1Kg	Mediano	1203	12-MAR-2003	-	Tamaulipas
12. Las Ánimas, prima extra-lavado	Caja de cartón y bolsa de 500 g	Mediano	042FOP11	04-04-04	-	Veracruz
13. Los portales	Bolsa de 454g	Mediano	L'3267	07-04	-	Veracruz
14. Mexicano	Bolsa de 500 g	Mediano	A10704	Nov-2004	-	-
15. Monkey, de la alta montaña	Bolsa de 426 g	Mediano	-	09-Feb-05	-	-
16. Pánuco, clásico	Bolsa de 500 g	Mediano	-	12/2004	-	-
17. Sta Fe	Bolsa de papel de 250 g	Fino	4004	12/04	Café arábigo	Córdoba, Veracruz
18. Tazza	Bolsa de 454 g	Mediano	110505C	1105	-	Coatepec, Veracruz
19. Villarias	Venta a granel	Fino	-	-	Café arábigo	-
20. Vips	Bolsa de 500 g	Mediano	322	181104	-	-

Las muestras que se encuentran a peso constante (se empleó una estufa marca Heraeus modelo RB360 a 103°C para secarlas a peso constante) se digieren empleando el método PAAR002H del Horno de Microondas PARR Perkin Elmer de acuerdo con la metodología expuesta en el apartado 5.2.3 únicamente variando el volumen de aforo del digerido de 10 mL a 25 mL para alcanzar a leer todos los elementos en la misma muestra; la preparación de la bebida se realizó empleando una cafetera de marca "Solea Moulinex", filtros de papel para café y todo tipo de cafeteras, marca "Santa Fe" de 31/4" base, aproximadamente 30 g de café seco y 290 mL de H₂O destilada-desionizada.

Las curvas empleadas para la cuantificación de las muestras así como las condiciones del equipo son las mismas que se describen en el apartado 5.2.2 tablas 26 y 27 respectivamente. Para asegurarse del buen funcionamiento del equipo al inicio, cada 5 muestras y al finalizar se leía una solución de concentración conocida, de esta manera si se observaba un cambio en la absorbancia durante las mediciones se calibraba de nuevo el equipo, se leía la curva patrón y se continuaba la lectura de las muestras.

5.2.7.1 REPETIBILIDAD DE LOS VALORES OBTENIDOS

Para conocer la repetibilidad de los valores obtenidos se eligieron 7 marcas al azar y se realizó por duplicado la digestión y preparación de la bebida de café. Las marcas elegidas son:

1. Café la selva
2. Export
3. Garat, regular
4. Internacional
5. La Tampiqueña
6. Monky, de la alta montaña
7. Pánuco

Los resultados se encuentran en el capítulo 6 tablas 57 y 58.

5.2.8 EFECTO DE MOLIDO EN EL %EXTRACCIÓN EN LA BEBIDA DE CAFÉ

Se observó que el porcentaje de extracción de cada elemento es muy variable y considerando que se tenía dos tipos de molido en las muestras se realizó el siguiente experimento para conocer el efecto del tamaño de partícula durante la preparación de la bebida de café; suponiendo de antemano, que a un menor tamaño de partícula hay una mayor extracción de los elementos.

Tabla 32. Muestras empleadas para conocer el efecto del molido en el proceso de extracción con agua

Marca	Presentación	Tipo de Molido	Lote	Consumo preferente	Especie	Origen
El jarocho	Venta a granel	mediano	-	-	Café arábica	Veracruz
El jarocho	Venta a granel	Fino	-	-	Café arábica	Veracruz
El jarocho	Venta a granel	Extrafino o turco	-	-	Café arábica	Veracruz
Blasón gourmet americano	Bolsa de 500 g	Mediano	A-6790	11-2004	Café arábica,	Oaxaca
Blasón gourmet espresso	Bolsa de 500 g	Fino	A-E789	11-2004	Café arábica	Oaxaca

Los resultados se encuentran en el capítulo 6 tablas 59, 60 y 61.

6. Resultados y Discusión

6.1 EXPERIMENTOS PREVIOS

6.1.1 LIXIVIACIÓN ÁCIDA Y LIXIVIACIÓN CON AGUA CALIENTE

Tabla 33. Resultados de lixiviación con agua en caliente obtenidos en ICP-OES.

Muestra	Filtro papel mg/Kg café	Filtro metal mg/Kg café
Ba	1.33	1.38
Cd	ND	ND
Co	ND	ND
Cr	ND	ND
Cu	ND	ND
Fe	1.33	1.85
Mn	32.45	6.46
Na	27.11	18.47
Ni	ND	ND
Pb	ND	ND
Zn	0.44	0.46
Metal	Filtro papel g/100g café	Filtro metal g/100g café
Ca	.021	.021
K	3.045	2.521
Mg	.073	.075

En el caso de la lixiviación con agua caliente se observó que se presentan valores mayores de K, Na y Mn al emplear filtro de papel, se pudo descartar la posibilidad de que el agua y el material estuvieran contaminados por estos metales ya que los blancos de ambas muestras presentan los mismos valores de absorbancia para cada uno de los 3 metales; por lo que se cree que el incremento se debe a la presencia de los metales en el filtro de papel, los cuales no se extraen durante la preparación del blanco debido a que el tiempo de paso del agua por el filtro es muy pequeño; mientras que cuando se prepara la muestra los poros del filtro están tapados por el café lo que aumenta el tiempo de permanencia del agua y resulta posible la extracción del K, Na y Mn. La concentración de Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Pb no fueron detectables, lo cual no significa que no se encuentren estos metales en la bebida de café, sino que su concentración está por debajo del límite de detección del equipo. Las concentraciones de Ba, Ca, Mg y Zn son similares en ambos filtros y en el caso del Fe la concentración es ligeramente mayor al emplear el filtro de metal, habría que confirmar si es que este tipo de filtro contamina la muestra.

Tabla 34. Resultados de lixiviación ácida en caliente obtenidos en ICP-OES, variando el tiempo de lixiviación

MUESTRA	15 MIN 45°C ACIDA	30MIN 45°C ACIDA	60 MIN 45°C ACIDA	90MIN 45°C ACIDA	120MIN 45°C ACIDA
mg metal/ Kg de café seco					
Ba	7.94	5.94	6.47	7.38	5.39
Cd	ND	ND	ND	ND	ND
Co	0.50	0.49	0.50	0.49	0.49
Cr	ND	ND	ND	ND	0.49
Cu	13.89	10.89	11.45	13.78	14.61
Fe	25.81	23.26	24.39	29.54	40.92
Mn	27.30	22.77	23.39	35.93	32.64
Na	75.45	236.61	182.16	153.10	--
Ni	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	2.98	0.0	0.50	0.49	6.82
g metal / 100 g de café					
Ca	0.088	0.081	0.085	0.094	0.101
K	4.021	2.876	3.299	4.228	4.969
Mg	0.206	0.172	0.186	0.219	0.248

Tabla 35. Lixiviación Ácida en Caliente obtenidos en ICP-OES, variando temperatura de lixiviación

MUESTRA	45°C 60MIN ACIDA	55°C 60MIN ACIDA
mg metal / Kg café seco		
Ba	6.22	5.96
Cd	ND	ND
Co	0.48	0.50
Cr	ND	ND
Cu	9.55	9.44
Fe	20.06	21.85
Mn	26.75	26.32
Na	163.39	109.27
Ni	ND	ND
Pb	ND	ND
Zn	4.78	3.98
g metal / 100 g café seco		
Ca	0.071	0.065
K	2.780	2.617
Mg	0.166	0.164

En el experimento donde se varía el tiempo de lixiviación es recomendable analizar las otras series preparadas ya que se obtienen valores más altos de concentración para 7 elementos de importancia nutricional (Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg y Zn)

a un tiempo de 120 min; ejemplo de éste es el Cr que sólo en este tiempo se obtiene un valor de 0.487 ppm. En cuanto a los elementos de importancia toxicológica el Cd, Ni y Pb son no detectables y para el Ba sus valores más altos de concentración son a 15 y 90 minutos: pero presenta un valor intermedio en 60 minutos. Una vez analizadas las 3 series de la lixiviación ácida variando tiempo se podría seleccionar el tiempo óptimo de lixiviación en el cual se obtienen los valores más altos de concentración para el mayor número de elementos.

Las concentraciones de elementos de importancia nutricional como el Cu, Cr, Co no fueron detectables en la bebida de café, por lo que es necesario concentrar un poco más la bebida de café para ver si es posible su detección.

6.2 VALORES OBTENIDOS

6.2.1 CONCENTRACIÓN DE LA BEBIDA DE CAFÉ Y USO DE NEBULIZADOR DE ALTA EFICIENCIA.

Tabla 36. Resultados de la concentración de la bebida de café

Muestra (g)	Volumen de H ₂ O destilada-desionizada (mL)				
	580	290	200	145	73
15	☺	☺	No se realizó esta prueba	☺	Poca agua por lo que no alcanza a humedecer todo el café
30	☺	☺	Poca agua por lo que no alcanza a humedecer todo el café	Poca agua por lo que no alcanza a humedecer todo el café	No se realizó esta prueba

☺ : resultados satisfactorios

Utilizando 290 mL y 30 g de café se realizó la lectura de la absorbancia de los 3 elementos variando el nebulizador y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 37. Absorbancia de Cu, Fe y Zn al variar el tipo de nebulizador

Nebulizador	Elementos		
	Cu	Fe	Zn
Nebulizador con esfera de impacto de vidrio	0.003	0.004	0.012
Nebulizador de alta eficiencia	0.024	0.027	0.050

Las absorbancias obtenidas con el nebulizador con esfera de impacto de vidrio son muy pequeñas siendo imposible saber si el valor obtenido corresponde a la concentración de la muestra o es parte del ruido del equipo, especialmente en el caso del cobre y hierro. Del cinc se obtiene un valor de absorbancia mayor ya que este elemento es más sensible, sin embargo es preferible manejar absorbancias mayores. Al emplear el nebulizador de alta eficiencia para realizar la cuantificación de Cu, Fe y Zn se observó un incremento notable de la absorbancia, en el caso del cobre, ésta se incrementa 8 veces; efecto similar se presenta en el hierro y el cinc.

6.2.2 LÍMITES DE DETECCIÓN (LDD) Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN (LDC)

Tabla 38. Absorbancias de 10 curvas de calibración para Cu

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
0.05	0.0080	0.0070	0.0086	0.0080	0.0090	0.0086	0.0050	0.0053	0.0090	0.0090
0.10	0.0170	0.0190	0.0190	0.0190	0.0180	0.0170	0.0120	0.0120	0.0190	0.0190
0.30	0.0593	0.0613	0.0630	0.0620	0.0520	0.0513	0.0430	0.0440	0.0733	0.0723
0.50	0.1016	0.0996	0.1030	0.0990	0.0850	0.0916	0.0706	0.0713	0.1160	0.1153
0.70	0.1416	0.1390	0.1413	0.1376	0.1203	0.1303	0.1003	0.0980	0.1583	0.1586
LDD	0.0120	0.0247	0.0268	0.0296	0.0103	0.0310	0.0166	0.0352	0.0498	0.0420
LDC	0.0400	0.0824	0.0893	0.0986	0.0344	0.1035	0.0554	0.1172	0.1659	0.1400
Pndte	0.2072	0.2020	0.2051	0.1989	0.1703	0.1877	0.1465	0.1437	0.2322	0.2323
I.C. Pte	±0.0048	±0.0097	±0.0107	±0.0114	±0.0034	±0.0113	±0.0047	±0.0098	±0.0225	±0.019
Intercpn	-0.0029	-0.0015	-0.0007	-0.0005	0.0007	-0.0022	-0.0022	-0.0013	-0.0015	-0.0018
I.C. Itcpn	±0.002	±0.004	±0.0044	±0.0047	±0.0014	±0.0046	±0.0019	±0.004	±0.0092	±0.0078
R	0.9999	0.9997	0.9996	0.9995	0.9999	0.9995	0.9998	0.9993	0.9986	0.9990

Tabla 39. Límite de detección y límite de cuantificación para Cu

Límite de detección LDD y límite de cuantificación LDC			
	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
LDD mg/L	0.0278	0.0127	0.0091
LDC mg/L	0.0927	0.0422	0.0302

Tabla 40. Absorbancias de 10 curvas de calibración de Fe

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
0.15	0.0116	0.0123	0.0150	0.0136	0.0040	0.0033	0.0130	0.0133	0.0126	0.0126
0.45	0.0510	0.0526	0.0470	0.0523	0.0370	0.0396	0.0440	0.0386	0.0406	0.0443
0.90	0.0986	0.0993	0.1013	0.1060	0.0843	0.0850	0.0806	0.0856	0.0853	0.1043
1.35	0.1490	0.1523	0.1536	0.1593	0.1270	0.1260	0.1263	0.1243	0.1266	0.1546
1.80	0.1953	0.2006	0.2026	0.2076	0.1780	0.1756	0.1720	0.1716	0.1693	0.2013
LDD	0.0802	0.0755	0.0425	0.0670	0.0600	0.0913	0.0907	0.0781	0.0269	0.1014
LDC	0.2674	0.2517	0.1417	0.2234	0.1999	0.3043	0.3023	0.2605	0.0896	0.3381
Pndte	0.1105	0.1132	0.1148	0.1177	0.1042	0.1024	0.0953	0.0959	0.0951	0.1161
I.C. Pte	±0.0071	±0.0068	±0.0039	±0.0063	±0.005	±0.0074	±0.0069	±0.006	±0.002	±0.0094
Intercpn	-0.0017	-0.0018	-0.0028	-0.0017	-0.0109	-0.0093	-0.0015	-0.0025	-0.0016	-0.0046
I.C. Itcpn	±0.0078	±0.0075	±0.0043	±0.0069	±0.0055	±0.0082	±0.0076	±0.0066	±0.0022	±0.0104
R	0.9994	0.9995	0.9998	0.9996	0.9997	0.9992	0.9992	0.9994	0.9999	0.9990

Tabla 41. Límite de detección y límite de cuantificación para Fe

Límite de detección LDD y límite de cuantificación LDC			
	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
LDD mg/L	0.0714	0.0230	0.0165
LDC mg/L	0.2379	0.0768	0.0549

Tabla 42. Absorbancias de 10 curvas de calibración de Mg

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
0.10	0.1520	0.1553	0.1693	0.1733	0.1306	0.1293	0.1033	0.1013	0.1413	0.1433
0.20	0.2396	0.2423	0.2700	0.2756	0.2333	0.2326	0.1983	0.1936	0.2313	0.2273
0.30	0.3343	0.3310	0.3830	0.3870	0.3663	0.3666	0.3043	0.3076	0.3026	0.3120
0.40	0.4470	0.4440	0.5000	0.5000	0.4640	0.4630	0.3930	0.3946	0.3900	0.4003
0.50	0.5340	0.5350	0.6080	0.6100	0.5676	0.5700	0.4813	0.4863	0.4670	0.4700
LDD	0.0233	0.0254	0.0131	0.0094	0.0273	0.0270	0.0191	0.0238	0.0176	0.0200
LDC	0.0776	0.0846	0.0437	0.0313	0.0909	0.0899	0.0635	0.0793	0.0586	0.0666
Pndte	0.9714	0.9611	1.1074	1.0978	1.1047	1.1118	0.9507	0.9710	0.8101	0.8264
I.C. Pte	±0.0758	±0.0819	±0.0488	±0.0346	±0.1011	±0.1005	±0.0608	±0.0775	±0.0478	±0.0554
Intercpn	0.0500	0.0532	0.0538	0.0598	0.0210	0.0188	0.0108	0.0054	0.0634	0.0627
I.C. Itcpn	±0.0252	±0.0272	±0.0162	±0.0115	±0.0335	±0.0333	±0.0202	±0.0257	±0.0158	±0.0184
R	0.9991	0.9989	0.9997	0.9999	0.9988	0.9988	0.9994	0.9991	0.9995	0.9993

Tabla 43. Límite de detección y límite de cuantificación para Mg

Límite de detección LDD y límite de cuantificación LDC			
	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de Confianza
LDD mg/L	0.0206	0.0060	0.0043
LDC mg/L	0.0686	0.0198	0.0142

Tabla 44. Absorbancias de 10 curvas de calibración de Mn

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
0.10	0.0113	0.0120	0.0116	0.0120	0.0093	0.0100	0.0093	0.0106	0.0136	0.0160
0.30	0.0346	0.0340	0.0340	0.0350	0.0320	0.0303	0.0310	0.0320	0.0433	0.0526
0.60	0.0656	0.0660	0.0660	0.0676	0.0606	0.0573	0.0610	0.0573	0.0830	0.1010
0.90	0.0976	0.0960	0.0976	0.0993	0.0906	0.0823	0.0900	0.0840	0.1216	0.1430
1.20	0.1296	0.1260	0.1250	0.1310	0.1173	0.1140	0.1183	0.1113	0.1613	0.1916
LDD	0.0223	0.0309	0.0536	0.0227	0.0528	0.0588	0.0358	0.0461	0.0326	0.0586
LDC	0.0743	0.1031	0.1787	0.0756	0.1759	0.1959	0.1194	0.1535	0.1086	0.1954
Pndte	0.1069	0.1035	0.1035	0.1079	0.0979	0.0928	0.0988	0.0903	0.1333	0.1574
I.C. Pte	±0.0028	±0.0038	±0.0066	±0.0029	±0.0062	±0.0065	±0.0042	±0.005	±0.0052	±0.011
Intercpn	0.0015	0.0027	0.0026	0.0021	0.0013	0.0012	0.0007	0.0030	0.0019	0.0033
I.C. Itcpn	±0.0021	±0.0028	±0.0049	±0.0022	±0.0045	±0.0048	±0.0031	±0.0037	±0.0038	±0.0081
R	0.9999	0.9998	0.9994	0.9999	0.9994	0.9993	0.9997	0.9996	0.9998	0.9993

Tabla 45. Límite de detección y límite de cuantificación para Mn

Límite de detección LDD y límite de cuantificación LDC			
	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de Confianza
LDD mg/L	0.0414	0.0143	0.0102
LDC mg/L	0.1380	0.0476	0.0340

Tabla 46. Absorbancias de 10 curvas de calibración de Zn

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
0.05	0.0416	0.0203	0.0486	0.0483	0.0450	0.0390	0.0453	0.0393	0.0260	0.0250
0.10	0.0863	0.0506	0.1000	0.0966	0.0843	0.0810	0.0840	0.0760	0.0590	0.0570
0.20	0.1546	0.1100	0.1813	0.1780	0.1516	0.1496	0.1550	0.1533	0.1136	0.1150
0.30	0.2263	0.1720	0.2720	0.2530	0.2123	0.2200	0.2303	0.2346	0.1723	0.1763
0.40	0.2980	0.2286	0.3573	0.3366	0.2840	0.2960	0.2996	0.3036	0.2343	0.2353
LDD	0.0146	0.0068	0.0118	0.0151	0.0160	0.0119	0.0072	0.0125	0.0116	0.0051
LDC	0.0488	0.0226	0.0394	0.0502	0.0533	0.0395	0.0239	0.0418	0.0386	0.0171

Conc. (mg/L)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Pndte	0.7231	0.5976	0.8753	0.8121	0.6717	0.7243	0.7270	0.7636	0.5883	0.5994
I.C. Pte	±0.0392	±0.015	±0.0384	±0.0453	±0.0398	±0.0318	±0.0193	±0.0355	±0.0252	±0.0114
Intercpn	0.0095	-0.0092	0.0080	0.0120	0.0144	0.0050	0.0102	0.0010	-0.0025	-0.0042
I.C. Itcpn	±0.0097	±0.0037	±0.0094	±0.0111	±0.0098	±0.0078	±0.0048	±0.0087	±0.0062	±0.0028
R	0.9996	0.9999	0.9997	0.9995	0.9995	0.9997	0.9999	0.9997	0.9997	0.9999

Tabla 47. Límite de detección y límite de cuantificación para Zn

Límite de detección LDD y límite de cuantificación LDC			
	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
LDD mg/L	0.0113	0.0037	0.0027
LDC mg/L	0.0375	0.0124	0.0089

Las concentraciones de los elementos se encuentran por arriba del límite de cuantificación, lo cual nos permite saber con exactitud las cantidades que se tienen de cada uno de los elementos en las muestras problema.

6.2.3 POCENTAJE DE RECUPERACIÓN

Tabla 48. Resultados de el % de recuperación de las soluciones de los elementos

Elemento	Punto α % de recuperación	Punto β % de recuperación	Punto γ % de recuperación
Cu	105.94	100.75	99.16
Fe	99.62	100.76	99.35
Mg	99.27	102.15	97.55
Mn	101.77	96.46	93.90
Zn	95.40	98.90	90.23

Los porcentajes de recuperación de los elementos de todas las curvas entran en el intervalo establecido de 90 al 110%, lo que significa que los puntos de las curvas son los adecuados para el cálculo de la concentración de cualquier muestra que se encuentre en el intervalo de la curva patrón.

Se puede decir que los porcentajes de recuperación más bajos en los tres puntos a evaluar los presenta el cinc, éste se debe a que este elemento es muy sensible sin embargo los valores se mantienen en nuestro intervalo establecido de 90-110% y la linealidad de la curva presenta un coeficiente de 0.999. En el caso del Fe, Mg y Mn el % de recuperación del punto γ es menor ya que estamos en el límite máximo o sobrepasamos ligeramente el intervalo de linealidad establecido por el equipo. Cabe

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

aclara que este equipo no cuenta con el software para ajustar las curvas de concentraciones menores y mayores del intervalo lineal a una curva lineal.

6.2.4 INTERFERENCIA DE MATRIZ

Tabla 49. Resultados para conocer la dilución adecuada del digerido de café

Elementos	Absorbancia muestra digerida (sol. A)	Absorbancia solución (sol. B)	Absorbancia muestra + solución (sol. C)	Suma de Absorbancias	Interferencia de matriz
Cu	0.091	0.098	0.174	0.189	No interfiere
Fe	0.038	0.05	0.124	0.088	Si interfiere
Mg	0.247	0.291	0.582	0.538	No interfiere
Mn	0.130	0.078	0.184	0.208	Si interfiere
Zn	0.182	0.304	0.481	0.486	No interfiere
Después de la dilución					
Fe	0.035	0.051	0.078	0.086	No interfiere
Mn	0.042	0.067	0.102	0.109	No interfiere

En los elementos que NO existe interferencia de matriz las absorbancias son aditivas o bien el valor obtenido es muy cercano a esta suma; en el caso del Fe y Mn la suma de las absorbancias de la solución A y B no correspondió a la absorbancia de la solución C por lo que decimos que SI existe interferencia de matriz. Al hacer las diluciones 1:1 para el Fe y Mn se eliminó la interferencia y la aditividad de las absorbancias se cumplió.

Tabla 50. Resultados de interferencia de matriz de la marca Export y Garat

Marca	Elemento	Valor medido (mg/L)	Valor de adición (mg/L)	Valor medido + valor adicionado Teórico (mg/L)	Valor medido + valor adicionado Experimental (mg/L)
Export	Cu	0.1458 ± 0.012	0.10	0.2458	0.2439
Export	Cu	0.1458 ± 0.012	0.20	0.3458	0.3073
Garat	Cu	0.1731 ± 0.000	0.10	0.2731	0.2624
Garat	Cu	0.1731 ± 0.000	0.20	0.3731	0.3565
Export	Fe	0.3581 ± 0.066	0.40	0.7581	0.6811
Export	Fe	0.3581 ± 0.066	0.80	1.1581	0.9980
Garat	Fe	0.2950 ± 0.028	0.40	0.6950	0.5623
Garat	Fe	0.2950 ± 0.028	0.80	1.0950	0.9113
Export	Mg	0.0715 ± 0.0001	0.025	0.0965	0.0944
Export	Mg	0.0715 ± 0.0001	0.05	0.1215	0.1135
Garat	Mg	0.0663 ± 0.008	0.025	0.0913	0.0868
Garat	Mg	0.0663 ± 0.008	0.05	0.1163	0.1107
Export	Mn	0.3566 ± 0.011	0.15	0.5066	0.4804
Export	Mn	0.3566 ± 0.011	0.30	0.6566	0.6418
Garat	Mn	0.3870 ± 0.006	0.15	0.3870	0.5226
Garat	Mn	0.3870 ± 0.006	0.30	0.6870	0.6998
Export	Zn	0.0502 ± 0.003	0.04	0.0902	0.0880
Export	Zn	0.0502 ± 0.003	0.08	0.1302	0.1252
Garat	Zn	0.0593 ± 0.002	0.04	0.0993	0.1039
Garat	Zn	0.0593 ± 0.002	0.08	0.1393	0.1461

Como se observa en la tabla 50 los resultados de concentración de la muestra adicionada varía en centésimas y en algunos casos en milésimas del valor teórico de adición, esta mínima diferencia puede deberse al procedimiento de trasvasado del digerido o a la suma de errores al realizar diluciones. De esta manera se puede decir que durante la digestión prácticamente no se pierden elementos y además que la metodología es adecuada para el análisis de los elementos en café.

6.2.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO

La marca Export y Garat presentaron los siguientes porcentajes de recuperación:

Tabla 51. Validación del método empleando muestras de café comerciales adicionadas (n = 2)

Marca	Elemento	Valor medido (mg/L)	Valor de adición (mg/L)	Valor de Recuperación (mg/L)	% Recuperación
Export	Cu	0.1458 ± 0.012	0.100	0.2439	99.3544 ± 5.030
Export	Cu	0.1458 ± 0.012	0.200	0.3073	88.9240 ± 3.200
Garat	Cu	0.1731 ± 0.000	0.100	0.2624	96.0896 ± 0.000
Garat	Cu	0.1731 ± 0.000	0.200	0.3565	95.5637 ± 0.000
Export	Fe	0.3581 ± 0.066	0.400	0.6811	90.1920 ± 7.866
Export	Fe	0.3581 ± 0.066	0.800	0.9980	86.3200 ± 4.928
Garat	Fe	0.2950 ± 0.028	0.400	0.5623	80.9688 ± 3.275
Garat	Fe	0.2950 ± 0.028	0.800	0.9113	83.2490 ± 2.137
Export	Mg	0.0715 ± 0.0001	0.025	0.0944	97.8239 ± 0.143
Export	Mg	0.0715 ± 0.0001	0.050	0.1135	93.4157 ± 0.109
Garat	Mg	0.0663 ± 0.008	0.025	0.0868	95.4112 ± 8.212
Garat	Mg	0.0663 ± 0.008	0.050	0.1107	95.3774 ± 6.445
Export	Mn	0.3566 ± 0.011	0.150	0.4804	94.8491 ± 1.9858
Export	Mn	0.3566 ± 0.011	0.300	0.6418	97.7587 ± 1.5790
Garat	Mn	0.3870 ± 0.006	0.150	0.5226	97.3346 ± 1.0370
Garat	Mn	0.3870 ± 0.006	0.300	0.6998	101.8694 ± 0.8480
Export	Zn	0.0502 ± 0.003	0.040	0.0880	97.6562 ± 2.8340
Export	Zn	0.0502 ± 0.003	0.080	0.1252	96.2161 ± 1.9340
Garat	Zn	0.0593 ± 0.002	0.040	0.1039	104.7286 ± 1.9770
Garat	Zn	0.0593 ± 0.002	0.080	0.1461	104.9155 ± 1.412

En general las 2 muestras adicionadas por duplicado presentaron por cientos de recuperación adecuados, sin embargo no todas se encontraban en el intervalo de 90-110%.

El % de recuperación es variable entre los elementos y entre las dos adiciones de un elemento; se cree que esto se debe principalmente al proceso de digestión y trasvasado del digerido a los matraces ya que al tapar los vasos del digestor no en todos se ejerce la misma presión y posiblemente en algunos la fuga de vapores y el arrastre de los metales fue mayor. Sin embargo estos resultados ayudan a confirmar que la metodología desarrollada para el análisis de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn es la adecuada y por tanto queda validada para este estudio.

6.2.6 CUANTIFICACIÓN DE METALES TRAZA

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 52. mg Cu / Kg café de origen mexicano

Marca	Bebida mg Cu / Kg café seco	Digerido mg Cu / Kg café seco	% de extracción
Altea, tueste europeo gourmet	1.0656	14.2644	7.4702
Blason gourmet americano	1.6872	13.9617	12.0843
Blason gourmet espresso	2.5645	11.3298	22.6347
Café La selva	1.9282	14.0334	13.7398
Comercial Mexicana, tueste medio	1.1847	10.9447	10.8246
El jarocho	1.6718	12.7117	13.1519
El marino, café puro tostado y molido	1.0652	13.7430	7.7510
Export, mezcla americana	1.2310	11.9985	10.2592
Garat, regular	1.2053	14.2311	8.4695
Internacional	1.9651	13.5473	14.5055
La Tampiqueña	1.1317	13.8989	8.1420
Las animas prima extra lavado	1.0642	9.4144	11.3039
Los portales	1.5258	13.0073	11.7300
Mexicano	1.2055	15.9665	7.5501
Monky de la alta montaña	2.1719	15.0767	14.4057
Pánuco, clásico	1.0928	11.7031	9.3377
Sta fe	1.9525	12.7571	15.3048
Tazza	1.1580	14.0787	8.2254
Villarías	1.2491	12.3618	10.1044
Vips	1.3447	15.1300	8.8876

Gráfico 1. mg Cu/Kg café en la muestra digerida y en la bebida

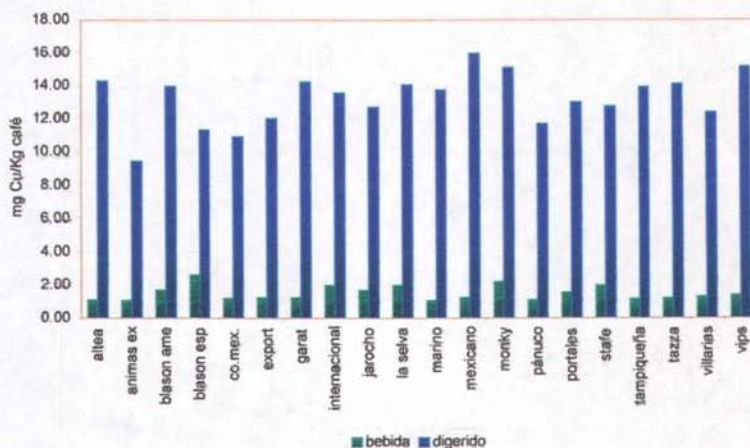


Gráfico 2. % extracción de Cu en bebida de café.

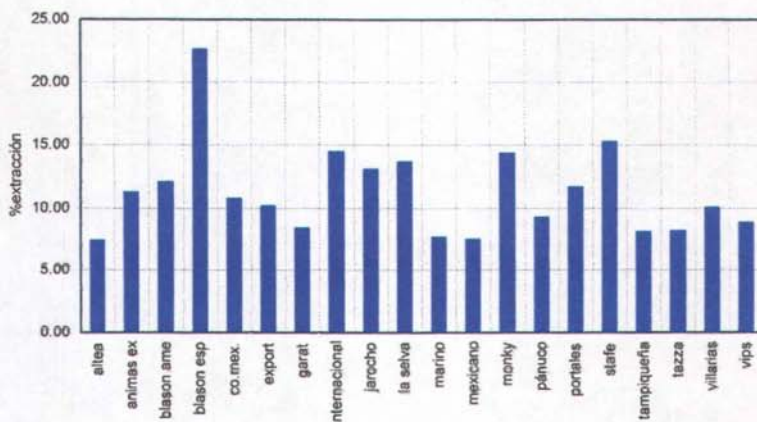


Tabla 53. mg Fe / Kg café de origen mexicano

Marca	Bebida mg Fe / Kg café seco	Digerido mg Fe / Kg café seco	% de extracción
Altea, tueste europeo gourmet	1.8587	29.6637	6.2660
Blason, gourmet americano	2.9012	28.7668	10.0854
Blason, gourmet espresso	4.0680	26.5878	15.3004
Café La selva	2.8145	29.6584	9.4897
Comercial Mexicana, tueste medio	1.7768	24.1396	7.3604
El jarocho	2.8872	40.0423	7.2103
El marino, café puro tostado y molido	1.9807	30.8391	6.4228
Export, mezcla americana	1.7669	29.4610	5.9974
Garat, regular	1.9953	24.2414	8.2308
Internacional	3.3476	26.8000	12.4910
La Tampiqueña	2.4455	39.5378	6.1851
Las animas prima, extra lavado	1.7984	20.3301	8.8461
Los portales	2.3485	33.1821	7.0776
Mexicano	2.2893	24.4398	9.3673
Monkey, de la alta montaña	13.9579	44.1032	31.6482
Pánuco	4.8190	47.6880	10.1052
Sta fe	3.9129	25.8974	15.1093
Tazza	2.0320	27.3395	7.4324
Villarias	2.5819	25.5393	10.1094
Vips	4.2924	29.8688	14.3707

Gráfico 3. mg Fe/Kg café en la muestra digerida y en la bebida

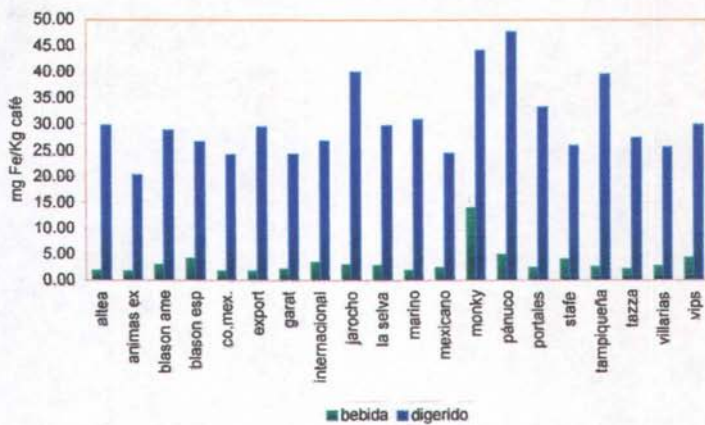


Gráfico 4. %extracción de Fe en bebida de café.

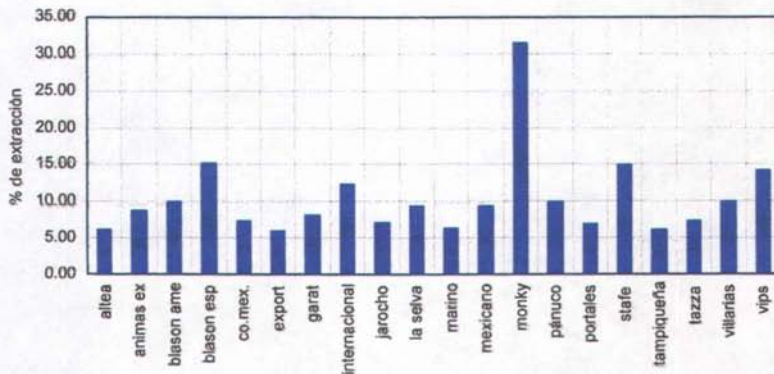


Tabla 54. g Mg / 100 g de café de origen mexicano

Marca	Bebida g Mg / 100 g de café seco	Digerido g Mg / 100g de café seco	% de extracción
Altea, tueste europeo gourmet	0.0515	0.1280	40.2465
Blason, gourmet americano	0.0796	0.1290	61.6781
Blason, gourmet espresso	0.1041	0.1260	82.6479
Café La selva	0.0897	0.1216	73.7253
Comercial Mexicana, tueste medio	0.0500	0.1261	39.6379
El jarocho	0.0632	0.1158	54.5664
El marino, café puro tostado y molido	0.0468	0.1171	39.9576
Export, mezcla americana	0.0530	0.1188	44.5707
Garat, regular	0.0653	0.1090	59.8624
Internacional	0.0797	0.1195	66.6946
La Tampiqueña	0.0624	0.1114	55.9695
Las animas prima , extra lavado	0.0524	0.1128	46.4445
Los portales	0.0543	0.1040	52.1967
Mexicano	0.0636	0.1256	50.5975
Monky, de la alta montaña	0.0646	0.1205	53.5685
Pánuco	0.0517	0.1134	45.5668
Sta fe	0.0987	0.1056	93.4897
Tazza	0.0631	0.1137	55.5246
Villarías	0.0649	0.1325	48.9697
Vips	0.0704	0.1075	65.5132

Gráfico 5. mg Mg/100 g café en la muestra digerida y en la bebida

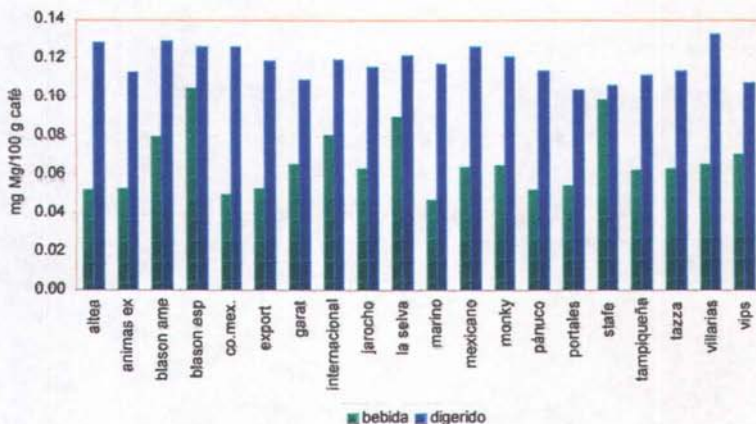


Gráfico 6. %extracción de Mg en bebida de café

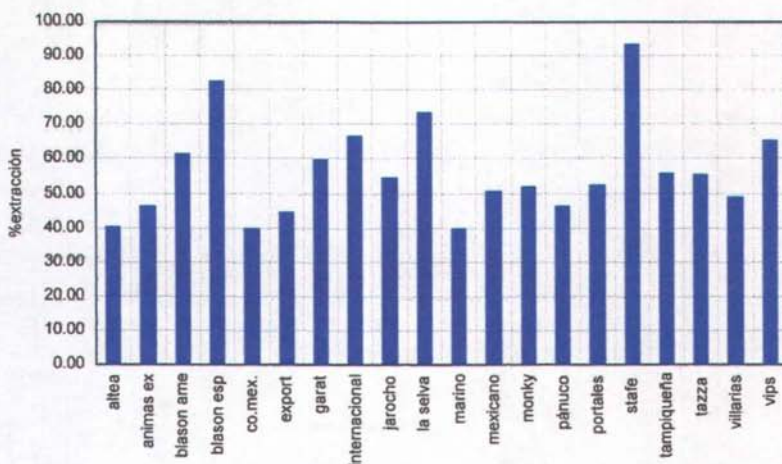


Tabla 55. mg Mn / Kg café de origen mexicano

Marca	Bebida mg Mn / Kg café seco	Digerido mg Mn / Kg café seco	% de extracción
Altea, tueste europeo gourmet	3.9010	23.5089	16.5936
Blason, gourmet americano	5.8526	23.6652	24.7307
Blason, gourmet espresso	6.5042	24.0903	26.9994
Café La selva	6.3273	22.1143	28.6116
Comercial Mexicana, tueste medio	5.3109	34.9603	15.1913
El jarocho	4.8221	37.3343	12.9159
El marino, café puro tostado y molido	4.5970	28.0889	16.3657
Export, mezcla americana	5.5311	29.3486	18.8462
Garat, regular	6.0433	31.8105	18.9978
Internacional	7.1994	23.6633	30.4242
La Tampiqueña	6.9460	33.6229	20.6585
Las animas prima , extra lavado	6.6833	32.8799	20.3263
Los portales	3.6248	19.6882	18.4108
Mexicano	4.0393	19.5912	20.6179
Monkey, de la alta montaña	5.9924	20.8946	28.6792
Pánuco	10.4951	59.4968	17.6398
Sta fe	11.5048	39.3179	29.2610
Taza	3.5284	17.9018	19.7099
Villarias	6.0774	38.0710	15.9632
Vips	6.9686	21.2219	32.8368

Gráfico 7. mg Mn/Kg café en la muestra digerida y en la bebida

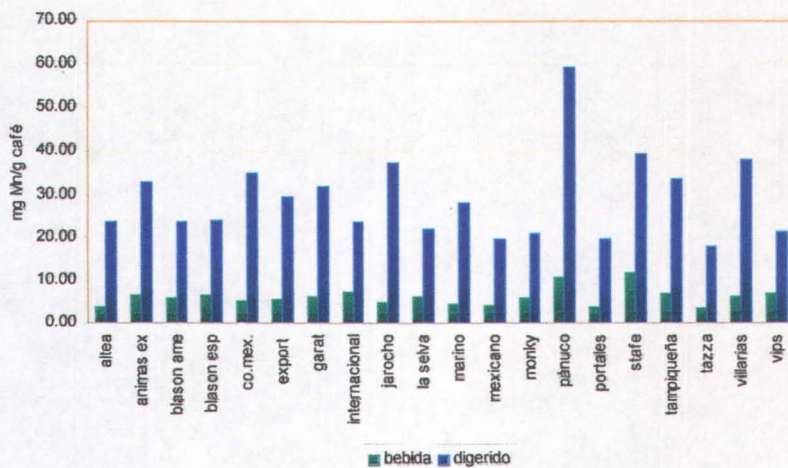


Gráfico 8. % extracción de Mn en bebida

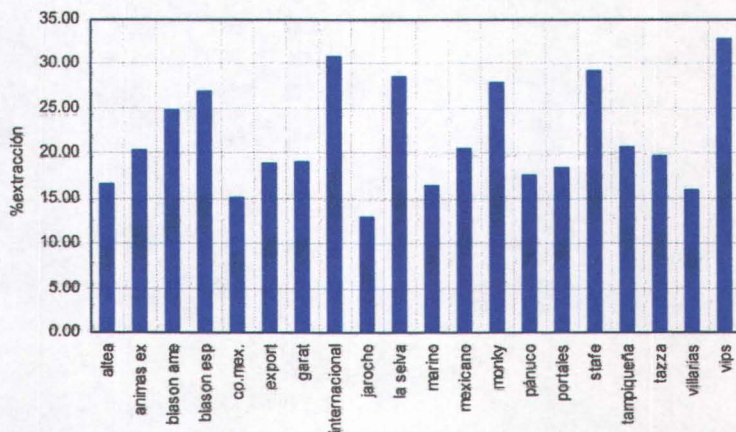


Tabla 56. mg Zn / Kg café de origen mexicano

Marca	Bebida mg Zn / Kg café seco	Digerido mg Zn / Kg café seco	% de extracción
-------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------

Altea, tueste europeo gourmet	0.8241	2.9076	28.3414
Blason, gourmet americano	1.3653	7.4517	18.3226
Blason, gourmet espresso	1.3020	5.0447	25.8094
Café La selva	1.3134	7.2041	18.2306
Comercial Mexicana, tueste medio	0.9209	3.3918	27.1511
El jarocho	1.2778	9.7409	13.1179
El marino, café puro tostado y molido	1.5133	6.2934	24.0462
Export, mezcla americana	1.0529	4.1273	25.5094
Garat, regular	0.7246	4.8735	14.8673
Internacional	1.5041	6.3666	23.6249
La Tampiqueña	0.9738	3.8255	25.4542
Las animas prima , extra lavado	1.2137	4.8938	24.8015
Los portales	1.0770	4.1241	26.1149
Mexicano	0.9504	8.3825	11.3379
Monkey, de la alta montaña	2.1108	9.3296	22.6249
Pánuco	0.8935	7.4460	11.9997
Sta fe	1.0615	6.4001	16.5853
Tazza	1.0146	8.0994	12.5272
Villarías	0.7539	6.3475	11.8773
Vips	0.9202	12.9175	7.1235

Gráfico 9. mg Zn/Kg de café en la muestra digerida y en la bebida

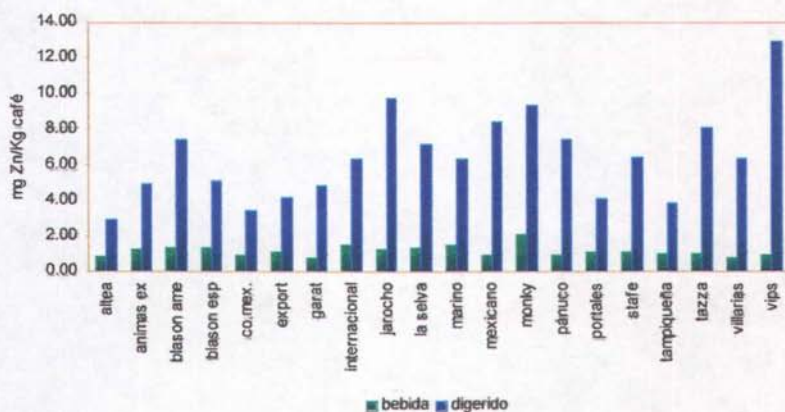
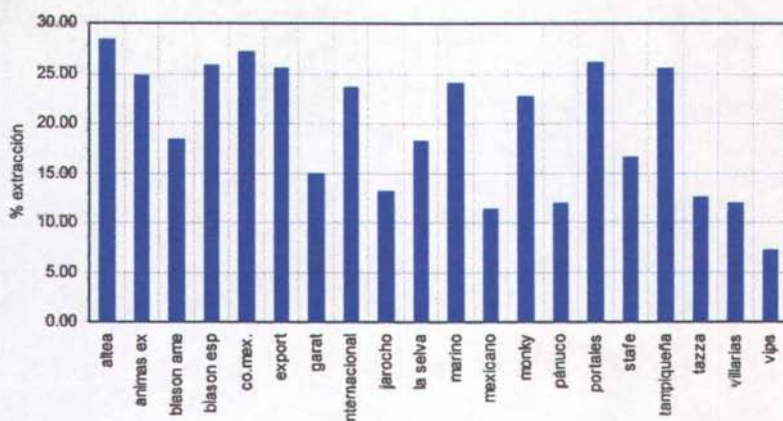


Gráfico 10. %extracción de Zn en bebida



Como se puede observar en los gráficos la extracción de cinc, cobre, hierro y manganeso durante la preparación de la bebida es menor al 40% del total de su concentración en el café; sin embargo la extracción del magnesio tiene un valor mínimo de 40% y en algunos casos es mayor o cercano al 90%. En este elemento se puede observar que dos de las marcas que presentan un molido fino coinciden en tener los porcentajes de extracción más altos, una de ellas es la marca "Santa Fé" y la otra es "Blasón Espresso" con un 94 y 86 % de extracción respectivamente; la concentración del magnesio en el café es mayor que la del resto de los elementos, tan sólo recordemos que para la cuantificación del magnesio en la bebida de café es necesario realizar una dilución de 0.1 mL en 25 mL. La variación en el % de extracción de los elementos puede depender de la cantidad del elemento que esté ligado a la cafeína.

La relación inversa entre el tamaño de partícula y el porcentaje de extracción no se observa claramente en el conjunto total del muestras debido a la gran variación entre las mismas; sin embargo si se compara únicamente a la muestra de "Blasón tipo americano" con molido mediano y la de "Blasón espresso" con un molido fino se observa claramente que en todos los elementos el porcentaje de extracción es mayor en la última que en la primera. Sin embargo para demostrar que el tamaño de partícula incide en el porcentaje de extracción es necesario realizar otro experimento y una prueba estadística que más adelante se analizará.

6.2.6.1 REPETIBILIDAD DE LOS VALORES OBTENIDOS

Tabla 57. Desviación estándar de la concentración de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en bebida de café

Marca	Elementos (n = 2)				
	mg Cu/Kg café	mg Fe/kg café	g Mg/100 g café	mg Mn/Kg café	mg Zn/Kg café
Café La Selva	1.9281±0.0321	2.8145± 0.0168	0.0897±0.0100	6.3273± 0.4673	1.3134± 0.0500
Export	1.2310±0.0475	1.7669± 0.0458	0.0530± 0.0023	5.5311±0.2456	1.0529± 0.0455
Garat, regular	1.2053±0.0007	1.9953± 0.0309	0.0653± 0.018	6.0433± 0.1362	0.7246± 0.0071
Internacional	1.9651±0.0478	3.3476± 0.0460	0.0835±0.0054	7.1994± 0.2749	1.5041± 0.0713
La Tampiqueña	1.1317±0.0928	2.4455± 0.1316	0.0624± 0.0056	6.9461± 0.7133	0.9738± 0.0622
Monkey, de la alta montaña	2.1719±0.2060	13.9579±0.6561	0.0646! ±0.0179	5.9924 ±0.4938	2.1108± 0.0723
Pánuco	1.0928±0.0094	4.8190± 0.1238	0.0517±0.0025	10.4951± 0.9082	0.8935± 0.1158

Tabla 58. Desviación estándar de la concentración de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en digerido de café

Marca	Elementos (n = 2)				
	mg Cu/Kg café	mg Fe/kg café	g Mg/100 g café	mg Mn/Kg café	mg Zn/Kg café
Café La Selva	14.0333±0.4143	29.6584± 0.2836	0.1216±0.0001	22.1143±0.5052	7.2041± 1.0485
Export	11.9985±0.9880	29.4610±5.3524	0.1188± 0.0003	29.3486± 0.7842	4.1273± 0.2028
Garat, regular	14.2311±0.1324	24.2414±2.0858	0.1090±0.012	31.8105± 0.1747	4.8735± 0.1995
Internacional	13.5473± 0.2351	26.8000±0.1153	0.1195±0.0054	23.6633±0.4222	6.3666± 0.1119
La Tampiqueña	13.8989±0.1818	39.5378±8.5404	0.1114± 0.0076	33.6229± 6.2964	3.8255±0.8108
Monkey, de la alta montaña	15.0767±0.8960	44.1032±2.2696	0.1205± 0.0023	20.8946± 0.4692	9.3914±1.3359
Pánuco	11.7030± 0.2426	47.6880±2.8959	0.1097±0.0024	59.4968±2.6839	7.4463±1.4150

La desviación estándar indica la dispersión de los datos, con la cual se tiene una idea de la repetibilidad de los resultados. La relación de la dispersión y el valor de la desviación es proporcional, es decir, entre más pequeña sea la desviación estándar los datos son menos dispersos. Si se compara la desviación estándar de los 5 elementos en ambos procesos, se observa que ésta es menor en la bebida de café, lo que indica que durante la preparación de la bebida las variables existentes son controladas; en cambio el incremento en la dispersión de los resultados en la digestión total indica que habría que optimizar un poco más la digestión. Esto no se hizo porque los resultados de la desviación estándar se encuentran dentro del intervalo de aceptación.

6.2.7 EFECTO DE MOLIDO EN EL %EXTRACCIÓN EN LA BEBIDA DE CAFÉ

Tabla 59. Concentración de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en bebida de café (n=2)

Marca	mg Cu/Kg café	mg Fe/kg café	g Mg/100 g café	mg Mn/Kg café	mg Zn/Kg café
el jarocho, molido mediano	0.7793±0.0183	4.4014±0.4563	0.0394± 0.004	3.5026±0.3290	0.6468± 0.0267
el jarocho, molido fino	1.4554±0.1362	5.5127±0.3882	0.0699± 0.0005	5.5798± 0.2221	0.8796± 0.0462
el jarocho, molido extrafino o turco	1.1772±0.0520	4.3354± 0.1213	0.0539± 0.0017	4.3224± 0.2552	0.6671± 0.0425
Blasón gourmet americano, molido mediano	1.6872	2.9012	0.0796	5.8526	1.3653
Blason gourmet espresso, molido fino	2.5645	4.0680	0.1041	6.5042	1.3020

Tabla 60. Concentración de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en digerido de café.(n=2)

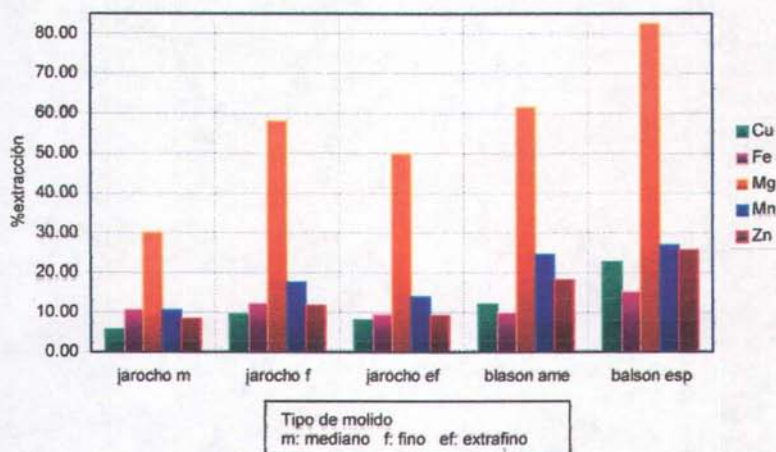
Marca	mg Cu/Kg café	mg Fe/kg café	g Mg/100 g café	mg Mn/Kg café	mg Zn/Kg café
El jarocho, molido mediano	13.5306±0.043	41.0109± 0.7876	0.1306± 0.009	32.8904±0.3723	7.5942± 0.1332
El jarocho, molido fino	15.2672± 0.069	44.8343± 0.8439	0.1200± 0.007	31.5858± 0.6314	7.3643± 0.3923
El jarocho, molido extrafino o turco	14.5149± 0.3294	45.4477± 4.0658	0.1075±0.0006	30.9842± 0.3634	7.1823± 0.1960
Blasón gourmet americano, molido mediano	13.9617	28.7668	0.1290	23.6652	7.4517
Blason gourmet espresso, molido fino	11.3298	26.5878	0.1260	24.0903	5.0447

Tabla 61. % de extracción

Marca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
El jarocho, molido mediano	5.7598	10.7323	30.1951	10.6494	8.5168
El jarocho, molido fino	9.5332	12.2956	58.2878	17.6654	11.9445
El jarocho, molido extrafino o turco	8.1105	9.5394	050.1079	13.9504	9.2884
Blasón gourmet americano, molido mediano	12.0843	10.0854	61.6781	24.7307	18.3226
Blason gourmet espresso, molido fino	22.6347	15.3004	82.6479	26.9994	25.8094

Si se realiza una gráfica del % de extracción y el tamaño de partícula se tiene la siguiente:

Gráfico 11. % extracción en relación con el tipo de molido



Para saber si hay diferencia significativa entre el % de extracción y el tamaño de partícula se realizó un análisis de varianza de un solo factor (tamaño de partícula) con tres niveles del factor (mediano, fino y extrafino), a continuación presentamos el resultado:

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	131.6477	13.16477	84.2940948
Fila 2	10	219.6748	21.96748	378.204847
Fila 3	10	182.07108	18.207108	287.716533

ANÁLISIS DE VARIANZA

$\alpha = 0,05$

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	390.177578	2	195.088789	0.78013102	0.46840474	3.3541312
Dentro de los grupos	6751.93927	27	250.071825			

Total 7142.11685 29

$F_{tablas} > F_{calculado}$: si hay diferencia significativa entre el tamaño de partícula del café y el % de extracción

Debido a que la F de tablas es mayor a la F calculada se puede decir que existe una diferencia significativa entre los diferentes grados de molido empleados para la preparación de la bebida y el por ciento de extracción obtenido. Siendo que a mayor tamaño de partícula, menor superficie de contacto y por ésto menor % de extracción de los elementos en el café. De esta forma confirmamos que la diferencia que se observa entre la marca "Blasón americano" y "Blasón espresso" se debe a que la última tiene un tamaño de partícula menor favoreciendo la extracción de los minerales por el agua.

Una vez llevada a cabo la cuantificación de los minerales es necesario trasladar esos resultados a una forma práctica de análisis e importancia, es por eso que se desea conocer la contribución del café mexicano a la recomendación dietética diaria de los minerales analizados. Para conocer la contribución de la bebida de café a la RDD de cada elemento se debe de suponer que la biodisponibilidad de los 5 elementos en la bebida de café es de un 100%, que el consumo es de una taza al día y se prepara la bebida con 5g de café. Para realizar los cálculos necesarios se utilizó la concentración obtenida a partir de la bebida de café; se consideró únicamente la RDD para personas de 25 años en adelante, para los cálculos de hierro y magnesio se respetó la variación de los requerimientos ya que difieren entre hombres y mujeres; por último en el caso del manganeso la RDD maneja un intervalo de 1.4 a 5.0 mg diarios por lo que para realizar los cálculos se eligió un valor intermedio de 3.0 mg.

Considerando lo anterior una taza de café proporcionaría el siguiente porcentaje a la recomendación dietética diaria:

Tabla 62. Contribución del café a la RDD de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn

Marca	%RDD de Cu	%RDD de Fe (♀)	%RDD de Fe (♂)	%RDD de Mg (♀)	%RDD de Mg (♂)	%RDD de Mn	%RDD de Zn
Altea, tueste europeo gourmet	0.2131	0.0372	0.0620	0.8586	0.7359	0.6502	0.0275
Blason, gourmet americano	0.3374	0.0580	0.0967	1.3261	1.1366	0.9754	0.0455
Blason, gourmet espresso	0.5129	0.0814	0.1356	1.7356	1.4877	1.0840	0.0434
Café La selva	0.3856	0.0563	0.0938	1.4942	1.2807	1.0545	0.0438
Comercial Mexicana, tueste medio	0.2369	0.0355	0.0592	0.8331	0.7140	0.8852	0.0307
El jarocho	0.3344	0.0577	0.0962	1.0531	0.9027	0.8037	0.0426
El marino, café puro tostado y molido	0.2130	0.0396	0.0660	0.7798	0.6684	0.7662	0.0504
Export, mezcla americana	0.2462	0.0353	0.0589	0.8825	0.7564	0.9219	0.0351

Marca	%RDD de Cu	%RDD de Fe (♀)	%RDD de Fe (♂)	%RDD de Mg (♀)	%RDD de Mg (♂)	%RDD de Mn	%RDD de Zn
Garat, regular	0.2411	0.0399	0.0665	1.0875	0.9321	1.0072	0.0242
Internacional	0.3930	0.0670	0.1116	1.3283	1.1386	1.1999	0.0501
La Tampiqueña	0.2263	0.0489	0.0815	1.0392	0.8907	1.1577	0.0325
Las animas prima , extra lavado	0.2128	0.0360	0.0599	0.8732	0.7484	1.1139	0.0405
Los portales	0.3052	0.0470	0.0783	0.9047	0.7755	0.6041	0.0359
Mexicano	0.2411	0.0458	0.0763	1.0592	0.9079	0.6732	0.0317
Monky, de la alta montaña	0.4344	0.2792	0.4653	1.0758	0.9221	0.9987	0.0704
Pánuco	0.2186	0.0964	0.1606	0.8608	0.7379	1.7492	0.0298
Sta fe	0.3905	0.0783	0.1304	1.6454	1.4104	1.9175	0.0354
Tazza	0.2316	0.0406	0.0677	1.0522	0.9019	0.5881	0.0338
Villarias	0.2498	0.0516	0.0861	1.0814	0.9269	1.0129	0.0251
Vips	0.2689	0.0858	0.1431	1.1738	1.0061	1.1614	0.0307

Existen muchas causas que producen variaciones en el contenido de los elementos traza, siendo la propia variación biológica de importancia clave. Esta variación biológica en los alimentos tanto de origen animal como vegetal depende de la especie, variedad, estaciones, edad, métodos agrícolas (empleo de fertilizantes, control de plagas, sistema de cultivo), exposición en el medio ambiente (suelo, vientos, lluvia, cantidad de luz) y proceso industrial (almacenamiento, beneficiado, tueste y molido).

Teniendo en consideración estos factores el % de contribución del café a la recomendación diaria dietética de Cu es de 0.2128 – 0.5129 %, 0.5881- 1.9175 % para Mn y 0.0242 – 0.0704% para Zn; como las necesidades de Fe y Mg difieren entre hombres y mujeres el porcentaje de contribución a la RDD varía siendo de 0.0353 - 0.2792 % y 0.0589 – 0.4653 % para hierro y de 0.7798 – 1.7356 % y 0.6684 – 1.4877 % para magnesio en mujeres y hombres respectivamente.

Los valores de contribución del café a la dieta son menores o cercanos al 1% en la mayoría de los elementos y en todas las marcas, en el caso del magnesio debido a que se encuentra en una concentración mucho mayor que el resto de los elementos presenta un valor máximo de contribución cercano al 2%; siendo la marca "Santa Fé" la que presenta este valor se puede suponer que el incremento del porcentaje también puede deberse al tamaño de partícula que presenta esta marca.

Las marcas que presentaron el mayor valor en la suma de la contribución a la RDD de todos los elementos son "Santa Fé" y "Blasón Espresso" presentando los valores

más altos en magnesio y manganeso respectivamente. En contra parte se tienen a las marcas "Altea y "El marino" este último con la contribución más baja en magnesio.

Comparando el método agrícola empleado; café orgánico (café La selva) y café industrializado (el resto de las marcas) y teniendo como parámetro de comparación el valor nutricional en función de la concentración de los 5 elementos analizados, se puede decir que **NO** existe diferencia en el valor nutrimental del café por el método agrícola empleado.

Un análisis por estado no se puede realizar ya que no se tiene el origen, especie y variedad, y mezcla de cada una de las marcas analizadas, sin embargo con la poca información que proporciona el fabricante en el empaque, se puede decir que el café del estado de Veracruz presenta los valores más altos de manganeso y hierro, en contra parte el café de Chiapas y Oaxaca tienen baja concentración de estos elementos. Los valores de cinc, cobre y magnesio son muy parecidos entre todos los estados (Chiapas, Oaxaca, Tamaulipas y Veracruz).

Al realizar una comparación entre la concentración de cinc, cobre, hierro, magnesio y manganeso que presenta el café mexicano y lo reportado en el café de otras regiones, especies y presentaciones se tiene la siguiente tabla:

Tabla 63. Comparativa del contenido de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn del café mexicano y de otros países

País	Especie	Unidades	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
Café soluble							
Nigeria ^a	-	ppm	6.78 – 13.4	6.3 – 174.0	-	-	0.04 – 2.58
Brasil ^b	-	mg/Kg de café	0.50 – 2.33	14.0 – 450.8	0.21 – 0.41 (g/100g)	3.62 – 38.85	3.17 – 15.17
Café tostado y molido							
Brasil ^c	Arábica	% g/g (base seca)	0.0013 – 0.0018	0.0050 – 0.0060	0.17 – 0.19	0.0027 – 0.0030	0.0005 – 0.0029
Colombia ^c	Arábica	% g/g (base seca)	0.0013 – 0.0013	0.0050 – 0.0052	0.18 – 0.19	0.0036 – 0.0045	0.0006 – 0.0018
Café tostado y molido							
Guatemala ^c	Arábica	% g/g (base seca)	0.0013	0.0040	0.17	0.0028	0.00051
Honduras ^c	Arábica	% g/g (base seca)	0.0011	0.0047	0.17	0.0029	0.00054
Vietnam ^c	Robusta	% g/g (base seca)	0.0013	0.0073	0.16	0.0020	0.0030
México	Arábica	% g/g (base seca)	0.0009 – 0.0016	0.0020 – 0.0048	0.10 – 0.13	0.0018 – 0.0059	0.0003 – 0.0013
México	Arábica	Ppm	0.11 - 0.19	0.24 – 0.58	0.06 – 0.08	0.21 – 0.72	0.03- 0.15
México	Arábica	mg/Kg café	9.41 – 15.96	20.33 – 47.68	0.10 - 0.13 (g/100g)	17.90 – 59.49	2.90 – 12.91

Fuente: a: [22] b: [6] c: [19]

Con respecto al contenido de minerales del café soluble y el café tostado y molido mexicano se puede decir que el primero presenta mayor concentración de hierro, magnesio y cinc, en contraparte el manganeso está en concentraciones menores. La concentración de cobre en el café soluble del mercado nigeriano [22] presenta valores más elevados que el brasileño [6], por lo que el café tostado y molido mexicano tiene mayor concentración de este elemento que el café soluble brasileño y una menor concentración en comparación con el café soluble nigeriano.

Comparando los niveles de cobre, hierro y cinc del café mexicano, brasileño, colombiano, hondureño y guatemalteco se tiene que no difieren mucho entre sí; a diferencia del café de Vietnam que tiene mayor concentración de hierro y cinc. Los niveles de magnesio en el café mexicano son menores que los del resto de los países y en cambio el manganeso los sobrepasa por mucho.

Por último se puede decir que ninguno de los elementos analizados se encuentra en concentraciones tóxicas para el organismo humano, ya que apenas proporcionan una mínima cantidad de la RDD.

7. Conclusiones

- ☆ Teniendo como parámetro de comparación el valor nutrimental en función de la concentración de los 5 elementos analizados, se puede decir que **NO** existe diferencia en el valor nutrimental del café por el método agrícola empleado.
- ☆ El café del estado de Veracruz presenta los valores más altos de manganeso y hierro, en contra parte el café de Chiapas y Oaxaca tienen baja concentración de estos elementos. Los valores de cinc, cobre y magnesio son muy parecidos entre todos los estados (Chiapas, Oaxaca, Tamaulipas y Veracruz).
- ☆ Comparando el contenido de minerales del café soluble y el café tostado y molido mexicano podemos decir que el primero presenta mayor concentración de hierro, magnesio y cinc, en contraparte el manganeso está en concentraciones menores.
- ☆ La concentración de cobre en el café del mercado nigeriano [22] presenta valores más elevados que el brasileño [6], por lo que el café tostado y molido mexicano tiene mayor concentración de este elemento que el café soluble brasileño y una menor concentración en comparación con el café soluble nigeriano.
- ☆ Comparando los niveles de cobre, hierro y cinc del café mexicano, brasileño, colombiano, hondureño y guatemalteco se tiene que no difieren mucho entre sí; a diferencia del café de Vietnam que tiene mayor concentración de hierro y cinc [19]. Los niveles de magnesio en el café mexicano son menores que los del resto de los países y en cambio el manganeso los sobrepasa por mucho.
- ☆ Existe diferencia significativa entre el grado de molido empleado para la preparación de la bebida de café y el porcentaje de extracción obtenido. Guardando una proporción inversa entre el tamaño de partícula y el porcentaje de extracción.
- ☆ Los valores de contribución del café a la dieta son menores o cercanos al 1% en la mayoría de los elementos y en todas las marcas, en el caso del magnesio debido a que se encuentra en una concentración mucho mayor que el resto de los elementos presenta un valor máximo de contribución cercano al 2%; siendo la marca "Blasón espresso" la que presenta este valor.
- ☆ El porcentaje de extracción de Cu, Fe, Mn y Zn son menores al 40%, mientras que el de Mg es mayor al 50% y en algunos casos cercano o mayor al 90%.
- ☆ Los elementos analizados se encuentra en concentraciones **NO** tóxicas para el organismo humano, ya que apenas proporcionan una mínima cantidad de la RDD.

☆ Por último, la metodología desarrollada es adecuada para la cuantificación de los 5 elementos por espectroscopía de absorción atómica con flama, logrando repetibilidad de los resultados.

8. Referencias

- [1]. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades
<http://www.atsdr.cdc.gov/es/> (6/14/2004)
- [2]. Café de Colombia
<http://juanvaldez.com/español/menu/index.html> (6/8/2004)
- [3]. Café proceso
<http://www.colcafe.com.co/productos5.html> (3/9/2004)
- [4]. Chávez, A., & Ledesma, A., "Tabla de Recomendaciones y valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en Latinoamérica". Instituto Nacional de nutrición "Salvador Zubirán". México 1997. capítulo 1.
- [5]. Consejo Mexicano del Café
<http://www.litio.pquim.unam.mx/~perick/café/cafehome.html> (1/26/2004)
http://www.gob.mx/wb2/egobierno/egob_consejo_cafe (1/26/2004)
- [6]. Dos Santos, E., & De Oliveira, E., "Determination of mineral nutrients and toxic elements in Brazilian soluble coffee by ICP-AES". Journal of Food Composition and Analysis (2001), 14, 523-531.
- [7]. Espectroscopía de absorción atómica
<http://www.unix1.shsu.edu/~chemistry/primers/pdf/AAS.pdf> (9/8/2004)
- [8]. FAO/WHO, "Human Vitamin and Mineral Requirements". Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok, Thailand. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma 2002.
- [9]. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, "Situación de la red café, oportunidades de desarrollo en México". Boletín informativo #320, Vol XXXV 10ª. Época, Año XXXI, Abril 2003, México.
- [10]. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
<http://www.fira.gob.mx> (3/3/2004)
- [11]. Friberg, L., Nordberg, G., & Vouk, V., "Handbook on the toxicology of metals". Elsevier Science publishers, 2a. Edición 1986, Vol. II., capítulo 10, 13 y 15.
- [12]. Hurrell, R., Reddy, M., & Cook, J., "Inhibition of non-haem iron absorption in man by polyphenolic-containing beverages". British journal of Nutrition (1999), 81, 289-295.
- [13]. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. "El café en el estado de Oaxaca". 1997, México.

-
-
- [14]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, "Tecnología para la producción de café en México". Folleto técnico No. 8, 1ª. Reimpresión, abril 1996, México.
- [15]. Klaassen, C., & Watkins, J. "Manual de toxicología. Toxicología, la ciencia básica de los tóxicos". 5ª. Edición, Editorial MacGraw-Hill Interamericana. 2001 México, D.F. pp.658-705
- [16]. Kolayli, S., Ocak, M., Küçük, & abbasoglu, R., "Does caffeine, bind to metal ions?". Food Chemistry (2004), 84, 383-388.
- [17]. Lloyd, L. E., McDonald, B. E., & Crampton, E. W., "Fundamentos de nutrición". Editorial Acribia, Zaragoza España. 1982 pp. Capítulo 16
- [18]. Martín, M. J., Pablos, F., & González, A.G., "Characterization of green coffee varieties according to their metal content". Analytica Chimica Acta (1998), 358, 77-183.
- [19]. Martín, M. J., Pablos, F., & González, A.G., "Characterization of arabica and robusta roasted coffee varieties and mixture resolution according to their metal content". Food Chemistry (1999), 66, 365-370.
- [20]. NOM-019-FITO-1995, POR LA QUE SE ESTABLECE LA CUARENTENA EXTERIOR PARA PREVENIR LA INTRTODUCCIÓN DE PLAGAS DEL CAFÉ.
- [21]. NOM-037-FITO-1995, POR LA QUE SE ESTABLECEN LAS ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS ORGÁNICOS
- [22]. Onianwa, P. C., Adetola, I. G., Iwegbue, M., Ojo, M., & Tella, O., "Trace heavy metals composition of some Nigerian beverages and food drinks". Food Chemistry (1999), 66, 275-279.
- [23]. Organización Internacional de Café
<http://www.ico.com> (3/3/2004)
- [24]. Organización para la Alimentación y Agricultura
<http://www.fao.org> (3/3/2004)
- [25]. Paré, J.R., & Bélanger, J.M., "Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry. Instrumental Methods in Food analysis" Elsevier 1997. Netherlands 141-169
- [26]. Perkin Elmer. "Manual de operación del Espectrofotómetro 2380". Perkin Elmer, enero 1982.

-
-
- [27]. Procuraduría Federal del Consumidor. "Revista del Consumidor", Número 210. Agosto 1994, México. Pp. 9-16.
- [28]. Procuraduría Federal del Consumidor. "Revista del Consumidor", Número 283. Septiembre 2000, México. Pp. 30-33.
- [29]. Robinson, D., "Boquímica y Valor Nutritivo de los Alimentos". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España 1991. pp. 290-352
- [30]. Rusell, L., "Minerals in animal and human nutrition" Academic Press Inc. U.S.A. 1992. Capítulo, 5, 7, 8, 11 y 28.
- [31]. Sakamoto, W., Nishihira, K., Fujie, T., Handa, M., Ozaki, M., & Yukawa, S., "Effect of coffee consumption on bone metabolism" Bone Vol. 28, No. 3. Marzo 2001:332-336
- [32]. Settle, F., "Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry". Editorial Prentice Hall, 1997, New Jersey. pp. 367-369, 373-376, 395-400
- [33]. Skoog. "Química analítica". 4ª. Edición, Mc Graw Hill, México. 1984. pp 444 – 472.
- [34]. Takeda, A., "Manganese action in brain function". Brain Research Reviews (2003) 41, 79-78.
- [35]. Tolonen, M., Vitaminas y Minerales en la Salud y la Nutrición. Editorial Acribia, Zaragoza España. 1995. Capitulo 5
- [36]. Torú, B., Menchú, Ma., & Elías, L., "Recomendaciones Dietéticas Diarias del INCAP". Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá y Organización Panamericana de la Salud, Guatemala, 1994. Capítulo 4.
- [37]. Valle, P., "Toxicología de alimentos". CEPIS, México 2000. pp.198-200
- [38]. Vinculando
<http://www.vinculando.org> (1/26/2004)
- [39] Whitsett, T., Hartley, T. & Lovallo, W., "Cardiovascular effects of caffeine in men and women" The american journal of cardiology (2004) 93, 1022-1026.

9. APENDICE A

RECOMENDACIONES DIETÉTICAS DIARIAS DE NUTRIMENTOS INORGÁNICOS Sugeridas para mantener una buena nutrición en prácticamente toda la población

Grupo	Edad (años)	Ca Mg	Na ¹ mg	K ¹ mg	P Mg	Mg ² mg	Mn mg	Fe Mg	Zn mg	I [*] µg	F [*] mg	Cu [*] mg	Se [*] µg	Cl [*] mg	
Niños	0-3 meses	450	120	500	350	40	0,1-0,6	10	5	40	0,3	0,5	10	210	
	3-6 meses	450	120	500	350	40	0,1-0,6	10	5	40	0,3	0,5	10	210	
	6-12 meses	600	200	700	500	60	0,1-1,0	10	5	50	0,5	0,6	12	300	
	1-3	800	225	1000	700	80	0,2-1,5	15	10	70	1,0	0,8	15	300	
	3-7	800	300	1400	800	120	0,3-2,0	15	10	90	1,5	1,2	15	300	
	7-10	800	400	1600	800	120	0,4-3,0	15	15	150	2,0	1,5	30	550	
Hombres	10-12	1200	500	2000	1200	350	0,8-5,0	15	15	150	2,0	2,0	35	800	
	12-14	1200	500	2000	1200	350	0,8-5,0	15	15	150	2,0	2,0	45	800	
	14-18	1200	500	2000	1200	400	0,8-5,0	15	15	150	2,0	2,0	60	800	
	18-25	1200	500	2000	1200	350	1,4-5,0	15	15	150	3,0	2,5	70	900	
	25-65	800	500	2000	800	350	1,4-5,0	15	15	150	3,0	2,5	70	900	
	/ 65	800	500	2000	800	350	1,4-5,0	15	15	150	3,0	2,5	70	900	
	10-12	1200	500	2000	1200	300	0,8-5,0	15	15	150	2,0	2,0	40	800	
	12-14	1200	500	2000	1200	300	0,8-5,0	20	15	150	2,0	2,0	45	800	
Mujeres	14-18	1200	500	2000	1200	400	0,8-5,0	25	15	150	2,0	2,0	55	800	
	18-25	1200	500	2000	1200	300	1,4-5,0	25	15	150	3,0	2,5	60	900	
	25-65	800	500	2000	800	300	1,4-5,0	25	15	150	3,0	2,5	60	900	
	/ 65	800	500	2000	800	300	1,4-5,0	15	15	150	3,0	2,5	60	900	
	Cantidades adicionales durante:														
	Embarazo	1200				1200	300		30	15	200		3	5	
	Lactancia	1200				1200	400		15	19	200		3	15	

Fuente: [4]

1: Requerimientos mínimos de electrolitos estimados para individuos sanos que no sudan excesivamente.

2: El intervalo de edad varía: 0-6 meses, 6-12 meses, 1-4, 4-7, 7-10, 10-19 y +19 años.

* Nutrientos no incluidos en las tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México.

10. APÉNDICE B

Nutrimiento Inorgánico	Principales Funciones	Fuentes Principales	Deficiencias	Toxicidad
Calcio (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Constituyente de huesos y dientes ☆ Coagulación sanguínea ☆ Actividad enzimática ☆ Transmisión de impulsos nerviosos ☆ Contracción muscular ☆ Secreción de hormonas ☆ Mantenimiento y funcionamiento de membranas celulares ☆ Capacidad de adhesión de unas células con otras 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Tortilla de maíz ☆ Charales ☆ Sardinas ☆ Quesos ☆ Leche ☆ Berro ☆ Epazote ☆ Verdolaga ☆ Hoja de chaya 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Tetania ☆ Raquitismo ☆ Osteomalacia ☆ Osteoporosis 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Calcificación de tejidos blandos (riñón, miocardio, páncreas) y articular ☆ Desarrollo de una insuficiencia renal por el daño causado por la acumulación de Ca en los túbulos distales.
Cinc (Zn)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Formar parte de metaloenzimas ☆ Interviene en el metabolismo de carbohidratos y aminoácidos ☆ Sistema Inmune ☆ Cicatrización 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Visceras ☆ Pescado ☆ Huevos ☆ Cereales ☆ Productos lácteos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Retraso de crecimiento ☆ Anemia ☆ Hipogonadismo ☆ Hiperpigmentación ☆ Susceptibilidad a infecciones 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Poco frecuente
Cloro (Cl)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Equilibrio ácido-base ☆ Forma parte del jugo gástrico ☆ Electrolito ☆ Activador de algunas enzimas 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Contenido naturalmente en casi todos los alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ No se conoce deficiencia dietética 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Convulsiones
Cobre (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Respiración celular ☆ Formación de huesos ☆ Adecuada función cardíaca ☆ Desarrollo de tejido conectivo ☆ Formación de queratina y pigmentación ☆ Síntesis de hemoglobina 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Visceras, especialmente hígado ☆ Mariscos ☆ Cereales ☆ Nueces 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Anemia ☆ Pérdida de pigmentación ☆ A largo plazo aneurisma aórtica 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Por ingestión de sulfato de cobre puede causar la muerte, tiene por síntomas vómito hipotensión, melena y hematemesis
Flúor (F)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Parte integral de los huesos y dientes ☆ Hace más lisa la superficie de los dientes y les otorga más resistencia contra la caries 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ El agua (dependiendo del sitio de origen) ☆ Prácticamente todos los alimentos ☆ Mariscos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Mayor susceptibilidad a las caries 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Manchas en los dientes ☆ Dosis superiores a 5 g de NaF son letales
Fósforo (P)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Enlaces de alta energía ☆ Parte integral de los huesos ☆ Parte de numerosas coenzimas y de la forma activa de algunas vitaminas hidrosolubles y de los ácidos nucleicos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ En la mayoría de los alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Debilidad ☆ Anorexia ☆ Fragilidad ósea 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ No se ha informado
Hierro (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Interviene en la respiración celular, forma parte de la hemoglobina, mioglobina, de los citocromos y de varias enzimas 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Moronga ☆ Hígado ☆ Carne magra de res ☆ Yema de huevo ☆ Leguminosas ☆ Cereales 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Anemia ☆ Retraso en el crecimiento ☆ Susceptibilidad a infecciones 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Depósito de hierro en tejidos (Hemocromatosis) ☆ Toxicidad aguda se manifiesta por vómitos los cuales pueden ser sanguinolentos debido a las ulceraciones del tubo gástrico; las heces llegan a ser de color negro

Magnesio (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Síntesis proteínica ☆ Transmisión neuromuscular ☆ Biosíntesis de aminoácidos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Pescados ☆ Mariscos ☆ Habas ☆ Frijoles ☆ Maíz ☆ Avena 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Disminución en la respuesta motora ☆ Alteraciones en el ritmo cardíaco ☆ Convulsiones 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Parálisis del músculo esquelético
Manganeso (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Activador enzimático ☆ Formación de huesos ☆ Metabolismo de grasas, hidratos de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Cereales ☆ Vegetales ☆ Granos germinados ☆ Frutas ☆ Té ☆ Algunas especias 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ No se conocen enfermedades carencial asociadas al Mn, si bien en carencias experimentales se pueden presentar los siguientes síntomas: emaciación, exantemas y otros signos cutáneos y disminución del crecimiento del pelo. ☆ Se ha sospechado de una carencia de manganeso como factor coadyuvante de la diabetes y de la epilepsia. 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Por inhalación puede causar neumonitis ☆ Afecta al sistema nervioso central ☆ Alteración de la conducta ☆ Irritabilidad ☆ Dificultad para caminar
Potasio (K)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Balance electrolítico ☆ Regulación de la presión osmótica ☆ Transporte de nutrimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Carnes ☆ Visceras ☆ Naranja ☆ Plátano ☆ Mandarina 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ No se conoce deficiencia dietética ☆ La pérdida excesiva produce deshidratación 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Deshidratación, acidosis y choque
Sodio (Na)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Presión osmótica ☆ Contracción muscular ☆ Conducción nerviosa ☆ Absorción activa 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Casi todos los alimentos naturales ☆ Sal adicionada a los siguientes alimentos: frituras, carnes y verduras procesadas (encurtidos embutidos), queso y pan 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ No se conoce deficiencia dietética ☆ La pérdida excesiva produce deshidratación 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ A largo plazo, hipertensión
Yodo (I)	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Precursor de las hormonas triyodotironina y tiroxina 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Productos del mar ☆ Algas ☆ Sal yodada 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ Bocio 	

cuadernos de nutrición vol 11/ No. 6

11. Factores que inciden en la calidad del café

	Factores controlables	Factores No controlables
Durante la producción	Fertilización adecuada.	Clima. Se relaciona con la altitud y latitud, que a su vez influye en la acidez y dureza del grano. Fenómenos naturales, como heladas y "el niño". Suelos. Variedad cultivada.
	Manejo de cultivo.	
	Control de plagas.	
	Sistema de cultivo (sol o sombra).	
	Edad del café.	
	Podas.	
Cosecha	Control de malezas.	
	Recolección sólo del fruto maduro pues en este estado se han desarrollado todos los compuestos de aroma y sabor.	Proceso de descomposición natural por enzimas, exige el beneficiado húmedo o se seca al sol.
Beneficiado húmedo	Beneficiado en un lapso no mayor a 8 horas.	
	Despulpe adecuado con maquinaria bien ajustada para no rasgar el mucilago o pergamino.	
	Fermentación enzimática.	
	Uso de agua limpia.	
Via natural y beneficiado seco	Tiempo de fermentado adecuado.	
	Remoción del café secado al sol para obtener una humedad del 12%	
	Tiempo de exposición al sol	
	Influencia de la máquina secadora en cuanto a temperatura e intercambio de olor extraídos al café.	
	Ajuste de máquinas trilladoras y seleccionadoras.	
Almacenamiento	Buena selección de los granos por tamaño, densidad, color, humedad, etc.	
	Equilibrio entre agua del grano y humedad ambiente	
	Control de microorganismos y plagas	
Tueste y Almacenamiento	Intercambio de olores	
	Uniformidad de los granos	
	Distribución del calor y temperatura interna del tostador adecuada.	
	Enfriamiento.	
	Envasado adecuado al tiempo de consumo.	
Preparación	Almacenamiento en condiciones óptimas de humedad, temperatura y luz.	
	Utilización del molino adecuado para obtener un tipo de partícula ideal para el tipo de máquina en la que se prepara el café.	
	Agua sin cloro, potable y caliente, pero no hirviendo.	
	En el caso de café expreso, presión del agua en la máquina.	
	Limpieza del equipo.	
	Cantidad de café en relación con el agua empleada.	
	Tiempo adecuado de extracción.	
Consumo del café en un lapso no mayor a 1 hora.		

Fuente : Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, "Situación de la red café, oportunidades de desarrollo en México". Boletín informativo #320, Vol XXXV 10ª. Época, Año XXXI, Abril 2003, México.