



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias
Escuela de Química y Farmacia

PROFESOR PATROCINANTE: Dr. Eduardo Quiroz R.

INSTITUTO: Química

FACULTAD: Ciencias

“DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) EN ARROZ (*Oryza sativa*) Y TRIGO MOTE (*Triticum aestivum*) DE DIFERENTES MARCAS COMERCIALES.

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Químico Farmacéutico.

VALENTINA PAOLA SCHENCKE ALMONACID

VALDIVIA – CHILE

2010

Dedicado a Alicia y Enrique, mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Elementos Traza y Nutrientes del Instituto de Química de la Universidad Austral de Chile, por el financiamiento otorgado.

Al Doctor Eduardo Quiroz por el apoyo y disposición en todo momento para responder a mis dudas, por la gran persona y profesor que es con todos sus alumnos.

Al profesor Claudio Bravo y la profesora Susan Hess, por su disposición para formar parte de mi comisión.

A mi madre y a mi padre por el apoyo y paciencia infinita, por hacer que cada día quiera ser mejor persona, por sus consejos, esfuerzo y estar siempre conmigo. Sin ustedes no lo habría logrado.

A la Schenca y mi hermana por ser parte de mi vida y ayudarme en todo momento, a mi familia en general, todos de una u otra manera han estado en este largo camino.

Como no agradecerles a mis amigas Pía y Claudia, juntas desde que comenzó esta etapa hace ya mucho tiempo. Días de estudio, conversaciones, alegrías y tristezas, gracias por el tiempo compartido, las quiero mucho.

Y por sobre todo le agradezco a Dios por ser mi refugio, por iluminar mi camino y estar siempre a mi lado.

ÍNDICE

1. RESUMEN	6
SUMMARY	7
2. INTRODUCCIÓN.....	8
2.1 Arroz.....	8
2.2 Trigo	9
2.3 Método de análisis de los metales	9
2.4 Contaminación por metales	10
2.5 Metales pesados.....	11
2.6 Origen de los metales pesados.....	12
2.7 Indicadores de Contaminación	13
2.8 Daños potenciales en la salud.....	16
2.9 Elementos esenciales	18
2.10 Metales a Analizar.....	20
2.10.1 Plomo (Pb).....	20
2.10.2 Mercurio (Hg).....	21
2.10.3 Cadmio (Cd)	22
2.10.4 Arsénico (As)	24
2.10.5 Cobre (Cu).....	25
2.10.6 Manganeso (Mn)	26
2.10.7 Zinc (Zn).....	27
2.10.8 Calcio (Ca)	28
2.10.9 Magnesio (Mg)	29
2.10.10 Hierro (Fe).....	29
2.11 Hipótesis de trabajo	31
2.12 Objetivo general	31
2.13 Objetivos específicos.....	31

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1 Plan de trabajo (Cronograma)	33
3.2 Resumen de las muestras.....	34
3.3 Tratamiento de muestras secas	35
3.4 Análisis de las muestras secas	36
4. RESULTADOS.....	37
4.1 Metales Analizados	37
4.1.1 Plomo (Pb).....	37
4.1.2 Mercurio (Hg).....	37
4.1.3 Cadmio (Cd).....	38
4.1.4 Arsénico (As)	38
4.1.5 Cobre (Cu).....	38
4.1.6 Manganeso (Mn)	38
4.1.7 Zinc (Zn).....	38
4.1.8 Calcio (Ca)	39
4.1.9 Magnesio (Mg)	39
4.1.10 Hierro (Fe).....	39
5. DISCUSIÓN.....	40
6. CONCLUSIÓN.....	48
7. LITERATURA CITADA.....	51
ANEXO 1.....	62
Metodología de tratamiento de las muestras	62
ANEXO 2.....	68
Resultados (Tablas y Gráficos).....	68

1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar metales traza (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) esenciales y no esenciales para el organismo humano, en arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*).

Tanto el arroz como el trigo, son los principales cereales consumidos por millones de personas en todo el mundo.

Para el análisis, se recolectaron en el comercio diferentes marcas, de diferentes países de origen, de dichos alimentos.

La atención específicamente en la presencia de metales pesados, es debido a que es el primer paso de entrada a la cadena trófica, y por tanto de sus efectos dañinos en la salud humana.

Para el análisis de las muestras se utilizó el método Espectrometría de Absorción Atómica en su modalidad llama para la determinación de Pb, Cd, Cu, Mn, Mg, Ca, Zn y Fe, acoplado a un generador de hidruros para As y Vapor Frío para el Hg.

Las concentraciones obtenidas para los metales esenciales (Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) en muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) se encuentran dentro de valores aceptables. Mientras que se encontró la presencia de As en todas las muestras de arroz analizadas en este estudio.

En el total de muestras analizadas, tanto de arroz como de trigo mote los rangos de concentración obtenidos fueron: Hg (0 – 0,03 mg kg⁻¹) peso seco, Cd (0 – 0,58 mg kg⁻¹) peso seco, As (0 – 0,98 mg kg⁻¹) peso seco, Cu (1,55 – 3,00 mg kg⁻¹) peso seco, Mn (6,24 – 11,8 mg kg⁻¹) peso seco, Zn (6,93 – 19,2 mg kg⁻¹) peso seco, Ca (15,3 – 409 mg kg⁻¹) peso seco, Mg (158 – 1091 mg kg⁻¹) peso seco, Zn (6,93 – 19,2 mg kg⁻¹) peso seco.

SUMMARY

The aim of the study was to quantify trace metals (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) essential and non-essential to the body, in rice (*Oryza sativa*) and wheat mote (*Triticum aestivum*).

Rice and wheat are the main cereals consumed by millions of people around the world.

For the analysis samples, were collected from different trade marks in different countries of origin of such foods.

Specific attention in the presence of heavy metals, is because it is the first step in entering the food chain, and therefore it is harmful effects on human health.

For the analysis of samples, were used Atomic Absorption Spectrometry in the Flame mode for the metals Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe, coupled to Hydride Generator System for As and Cold Vapor for Hg.

The concentrations obtained for the essential metals (Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) in samples of rice (*Oryza sativa*) and wheat mote (*Triticum aestivum*) are within acceptable values. As was detected in all rice samples in this study.

In the samples analyzed, both rice and wheat mote, the concentration ranges obtained were: Hg (0 – 0,03 mg kg⁻¹) dry weight, Cd (0 – 0,58 mg kg⁻¹) dry weight, As (0 – 0,98 mg kg⁻¹) dry weight, Cu (1,55 – 3,00 mg kg⁻¹) dry weight, Mn (6,24 – 11,8 mg kg⁻¹) dry weight, Zn (6,93 – 19,2 mg kg⁻¹) dry weight, Ca (15,3 – 409 mg kg⁻¹) dry weight, Mg (158 – 1091 mg kg⁻¹) dry weight, Zn (6,93 – 19,2 mg kg⁻¹) dry weight.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Arroz

El arroz es uno de los principales cereales de cosecha y de consumo a nivel mundial. (Bienvenido O., 1985).

Se utiliza como alimento desde la antigüedad. Más de la mitad de la población del mundo consume arroz como componente principal de la dieta. (FAO, 1990).

El grano de arroz (arroz cáscara o paddy) se compone de una cubierta protectora exterior, la cáscara y la cariósida o fruto de arroz (arroz integral o pardo) (Bienvenido O., 1994).

La Norma del Codex para el arroz de la OMS/FAO, define arroz como los granos enteros o quebrados de la especie *Oryza sativa* L. Se clasifican según el tamaño de su grano en arroz de grano largo, arroz de grano medio y arroz de grano corto.

Desde el punto de vista comercial, el arroz pulido, también llamado a veces arroz blanco, es arroz al que se le ha quitado la mayor parte del salvado (cáscara) mediante la operación de molienda conocida como blanqueo (Mazza G., 2000).

El arroz se cultiva principalmente en Asia. En Chile las principales regiones del cultivo de arroz son VII y VIII regiones (Molina L., 2002).

Los factores genéticos, el suelo, las condiciones climáticas y los procesos industriales afectan el nivel final de minerales y contaminantes en el arroz. (Rivero-Huguet M., 2007).

2.2 Trigo

El trigo es el grano obtenido de las variedades de la especie *Triticum aestivum L* (OMS/FAO, Codex Alimentarius. 2007).

El trigo es la planta alimenticia de más extenso cultivo en el mundo entero. Millones de seres humanos lo consumen de diversas formas.

La planta del trigo es un miembro de la familia de las gramíneas y es perfectamente comparable con otros cereales por su contenido de nutrientes (Aykroyd W. and Doughty J., 1970).

El trigo mote, por su parte, es el grano de trigo hervido y pelado en un proceso industrial. Es consumido principalmente en países Sudamericanos como Chile, Bolivia, Perú, Ecuador y Argentina. Contiene cantidades moderadas de Fósforo y Magnesio (FAO, Alimentación y Nutrición, 2002).

El trigo en Chile ha tenido importancia por la superficie cultivada, por el valor de su cosecha y por ser la base de la alimentación del país. Se cultiva desde Norte Chico hasta Chiloé, con una gran variedad de condiciones ambientales y tipos de agricultura (Molina L., 2002).

2.3 Método de análisis de los metales

La Espectrofotometría de Absorción Atómica constituye un medio sensible para la determinación cuantitativa de más de 60 elementos metálicos o metaloides (Skoog et al., 2001). Ofrece sensibilidad, precisión y relativa sencillez en la operación (Olavaria, 2007).

Diferentes formas de introducción de la muestra y atomización han sido desarrolladas para esta técnica, la cual puede atomizarse fácilmente para el análisis rutinario (Kastenmayer P., 1997).

En cuanto a la medición de los metales, la terminología elementos traza se utiliza generalmente cuando se les relaciona con su análisis ya que se trata de la detección de concentraciones en partes por millón (ppm) y ultratraza cuando su cuantificación se encuentra en parte por billón (ppb) (Villa I. et al., 1999).

2.4 Contaminación por metales

Los metales tóxicos son uno de los problemas más antiguos del medio ambiente. Hoy en día, existen nuevas dimensiones, tales como la producción de metales en los países en desarrollo que conduce a la exposición ocupacional y la exposición al público en general, a través del ambiente, aire, agua, alimentos y productos de consumo.

El problema de los metales tóxicos se ve agravado por el avance de la tecnología, la expansión de la población humana y la sobreexplotación de aguas subterráneas (Nordberg G.F. et al., 2005).

La importancia que tiene el estudio de metales pesados principalmente, es que la absorción de éstos por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen de (1) el movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta, (2) el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, (3) el transporte de los metales desde la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia los tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos). Después de la absorción por los vegetales los metales

están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria (John y Leventhal, 1995).

El arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) están muy dispersos en el medio ambiente. A estos elementos no se le conocen efectos beneficiosos en el organismo ni tampoco se conocen los mecanismos de homeostasis. A pesar que la toxicidad y los posteriores efectos adversos para la salud humana de cualquier contaminante es en función de la concentración, es bien sabido que la exposición crónica a estos cuatro metales en niveles relativamente bajos puede causar daño a la salud (Llobet J.M. et al., 2003).

2.5 Metales pesados

Los llamados metales tóxicos, englobados en muchas ocasiones bajo el término de metales pesados, por ser la mayoría de ellos pertenecientes al grupo de elementos de densidades muy altas. Los metales pesados son uno de los contaminantes más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial bioacumulación en los organismos vivos (Orozco C. et al., 2003).

También se pueden definir a un conjunto de elementos químicos clasificados como elementos de transición y no transición, estos últimos pertenecen a los grupos III, IV, V y VI de la tabla periódica, aunque dentro de ellos se encuentren elementos como el Arsénico, el cual es un metaloide (Harrison & Hoare, 1980).

Los metales pesados son de preocupación debido a la abundancia y extensión de su presencia y a su capacidad de incorporarse a amplios sectores de la población. Una vez absorbidos, el metal

queda en el organismo hasta ser excretado; del mismo modo resulta muy difícil eliminarlos del ambiente (Florez J., 1998).

Estos metales pertenecen al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo, aún a concentraciones bajas. Los metales pesados que se encuentran en alimentos deben su presencia a diferentes causas, que van desde su obtención o cultivo, hasta su industrialización y distribución (Valle P. and Lucas F., 2000).

Es importante garantizar que metales pesados no estén presentes en los alimentos en niveles que puedan afectar negativamente la salud de los consumidores. La vigilancia del cumplimiento de las normas reguladoras es esencial para los consumidores y la facilitación del comercio; además de evaluar los riesgos para la salud pública derivados de la presencia de sustancias químicas tóxicas en los alimentos por medio del cálculo de la ingesta diaria aceptable (IDA). Esto puede ser de gran utilidad para determinar alguna relación entre los efectos adversos observados en los seres humanos y la exposición a un contaminante (USFDA/WHO, 1999).

2.6 Origen de los metales pesados

La exposición de los seres humanos a los elementos metálicos, así como a la contaminación del ambiente, se debe tanto a factores naturales (por ejemplo; erosión de los depósitos minerales metálicos en la superficie), como a factores derivados de las actividades humanas (Florez J., 1998).

La contaminación antropogénica puede ocurrir por la entrada al ambiente de sustancias sintéticas (xenobióticas) y, por lo tanto, tiene una gran variedad de causas. Por lo mismo ocasiona diversos problemas y efectos adversos tanto a corto como a largo plazo.

Causas antropogénicas de la contaminación

- las actividades productivas, como: la explotación de los recursos renovables y no renovables; la agricultura; la industria.
- las actividades no productivas, como: el transporte; las actividades domésticas; los servicios.
- los procesos sociales, como: la urbanización, el crecimiento demográfico, los movimientos migratorios.
- las alteraciones en el patrón cultural, como: la economía del consumo; tabaquismo, alcoholismo y drogadicción (Albert L., 2001).

2.7 Indicadores de Contaminación

El interés en los metales pesados que pueden ingresar a la cadena trófica surge por los problemas que pueden causar a la salud humana y animal. Los metales pesados y elementos traza de importancia en el medio ambiente por su trascendencia en la contaminación de suelos, y por lo tanto de cultivos agrícolas (SAG, 2005).

Hay plantas capaces de bioacumular metales y otros posibles contaminantes que varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la interacción planta-raíz-metal (SAG, 2005).

Los cultivos se pueden clasificar según el riesgo alimentario en relación a cada metal como inocuo, susceptible y peligroso, dependiendo en primer lugar si se encuentran cultivados en suelos con alta biodisponibilidad del elemento y si son ingeridos directa o indirectamente por el ser humano.

Debido a que el fin último de cualquier normativa o recomendación es la protección de la salud del ser humano, se deben tener presente tres factores esenciales en la cadena suelo – planta – hombre, estos son:

- Adsorción del elemento en el suelo (grado de disponibilidad)
- Fototoxicidad
- Riesgo en la cadena alimentaria (bioacumulación) (SAG, 2005).

El proceso de *bioacumulación* corresponde a un aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de tal manera que llega a ser superior a la del producto químico en el ambiente. De esta manera, la toxicidad está causada frecuentemente por la imposibilidad del organismo afectado para mantener los niveles de excreción (Nebel, 1999).

Los efectos producidos por los metales dependen de varios factores, como el momento y la duración de la exposición, su distribución y acumulación en diferentes órganos y la capacidad de interferir en los procesos específicos (Nordberg G. et al., 2005).

Resulta útil distinguir entre efecto agudo, donde la exposición breve a una cantidad elevada de sustancia tóxica origina una respuesta rápida y seria, y efecto crónico, exposición a dosis bajas

durante tiempo prolongado, y donde se produce un desfase entre la exposición inicial y la manifestación del efecto.

Los envenenamientos agudos alteran los procesos fisiológicos, originando una gran variedad de síntomas, y si la alteración es suficientemente severa, pueden conducir a la muerte. Los tóxicos crónicos tienen efectos más sutiles, a menudo se integran en una cadena de sucesos bioquímicos que conduce a estados de enfermedad, incluyendo la aparición de cánceres (Spiro T. y Stigliani W., 2004).

Varios metales se han encontrado que son cancerígenos para los seres humanos y animales, pero los mecanismos involucrados en el proceso de formación del tumor no están claros. Se cree que la transformación de las células es el resultado de una permanente alteración debido a la capacidad de los metales de unirse a numerosas biomoléculas nucleares (Kasprzak K., 1991).

Los cereales son la alimentación básica para más del 40% de la población humana, de ahí la importancia de la estimación de niveles tóxicos de los metales. Para asegurar la calidad de ellos es necesario mantener los contaminantes dentro de los rangos admisibles (Parengam M. et al., 2010).

Durante muchas décadas, han sido consideradas inocuas, emisiones naturales y antropogénicas de contaminantes metálicos, en la premisa de que los contaminantes se diluyen en el medio ambiente hasta concentraciones lo suficientemente bajas que no produzcan efectos adversos en las personas y la biosfera. Esta idea ha demostrado ser muy ingenua y errónea en muchas circunstancias, ya que pasa por alto completamente las características específicas de los diversos oligoelementos en cuanto a las transformaciones que experimentan en el ecosistema, que puede alterar por completo su comportamiento.

Hoy en día muchos países europeos se han preocupado por llevar a cabo diversas medidas en relación a los niveles totales de elementos traza, en particular para los elementos tóxicos Pb, Cd, Hg y As, en diversos alimentos (Ebdon L. et al., 2001).

2.8 Daños potenciales en la salud

El riesgo potencial para la salud pública relacionada con la dieta es por la ingesta de metales pesados, que se ha convertido en una preocupación creciente. Por lo tanto, se han establecido en muchos países algunas regulaciones para restringir la emisión de metales pesados y el límite de tolerancia en alimentos; y así disminuir la acumulación de tóxicos en la producción de alimentos como los cereales, en particular del arroz que es uno de los alimentos más consumidos en todo el mundo (Liu W. et al., 2007).

Hay tres formas principales que los metales pesados entren en contacto con el organismo y cultivos. La primera vía es a través de la deposición atmosférica de los contaminantes en el agua y el suelo, la segunda es el riego de los cultivos o beber agua contaminada, y la tercera vía es a través de la acumulación de los elementos metálicos en la cadena alimenticia (Lukšienė B. and Račaitė M., 2008).

Otro autor señala también como principales fuentes de contaminación por metales pesados en los alimentos:

- la tierra en la que crecen los productos utilizados para la alimentación humana o animal.
- los productos químicos con que se trata el suelo agrícola.
- el agua de bebida y la utilizada para cocinar o procesar los alimentos.

- la suciedad contaminante, es decir, la tierra de las hortalizas no suficientemente lavadas.
- el equipo, recipientes y utensilios utilizados para el procesado, el almacenamiento o cocinado de los alimentos (Coultate T. P., 1998).

Aunque desde hace siglos se tiene conocimiento de algunos de los más graves peligros para la salud que conllevan ciertos metales como el *mercurio*, *el plomo* y *el cadmio*, existe un creciente acervo de pruebas que vinculan a éstos (y otros metales) a toda una serie de efectos nocivos para la salud, problemas de desarrollo y procesos de envejecimiento. En los últimos decenios, se ha reconocido que ciertos metales pueden inducir sutiles, pero significativos efectos perniciosos (Pronczuk J.2006).

Mal funcionamiento de órganos y síndromes crónicos puede ser causados por la ingestión de dosis relativamente bajas de metales pesados tóxicos durante un largo período (Fu J. et al., 2008). Hoy en día, existen pruebas toxicológicas donde se demuestra que los metales pesados pueden interactuar y alterar biológicamente los principales sistemas celulares a niveles de dosis inferiores a los requeridos para producir signos de toxicidad metálica manifiesta (OMS, 1981).

The International Agency for Research on Cancer (IARC) determinó que la presencia de arsénico inorgánico en el agua potable es peligroso para la salud y que hay pruebas sustanciales que aumenta el riesgo de cáncer a la vejiga, pulmón, piel y de próstata (Zavala Y. and Duxbury J., 2008).

Diversos estudios previos han demostrado que la ingesta de agua potable y alimentos son la fuente más importante de arsénico inorgánico para los seres humanos (Laparra J. et al., 2005).

Los metales pueden afectar directamente a la reproducción o el desarrollo, relativamente a dosis bajas. O indirectamente a través de la toxicidad sistémica, generalmente a dosis más altas (Nordberg G. et al., 2005).

La acción directa de los metales pesados sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos (Vullo D. L., 2003).

Desde el punto de vista netamente químico, el ADN con abundancia de aniones fosfato es una molécula ideal para que se unan los cationes metálicos, por lo que no es de extrañar que se produzcan diversas alteraciones nucleares (Kasprzak K., 1991).

Estudios recientes han sugerido que los iones metálicos pueden aumentar la producción del factor alfa de necrosis tumoral (TNF α) y la activación de proteína kinasa C, que inducen la producción de proteínas de stress. Así, algunos mecanismos asociados a la toxicidad de los iones metálicos son muy similares a los efectos producidos por muchos xenobióticos orgánicos (Stohs S. and Bagchi D., 1995).

2.9 Elementos esenciales

Los minerales tienen numerosas funciones en el organismo humano. Los principales elementos esenciales en el cuerpo humano son: calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre, magnesio, manganeso, hierro, yodo, flúor, zinc, cobalto y selenio (FAO, Alimentación y Nutrición, 2002).

Desde el punto de vista nutricional asociarlos con el término “metales trazas”, es que en cuyo significado se indica la presencia de los metales en un determinado organismo como un requerimiento esencial y el cual debe presentarse en bajas concentraciones. A consecuencia de esto, estos elementos metálicos, los esenciales, aun en pequeñas dosis son imprescindibles para el

desarrollo de funciones vitales en los organismos. De tal manera, que el aporte insuficiente de los mismos conduce a determinadas anomalías dentro de los organismos (Spiro and Stigliani, 2004).

Los oligoelementos tienen un nivel *normal* de concentración en cada compartimento del organismo y ejercen funciones biológicas a distintos niveles:

- En algunos casos están íntimamente relacionados con sistemas enzimáticos, formando parte de ellos o ejerciendo su influencia como *cofactores* de diversas reacciones en las que intervienen enzimas.
- Algunos elementos aceptan o donan electrones en reacciones de oxidación-reducción, que son de gran importancia en la generación y utilización de energía metabólica.
- Otros elementos tienen un importante papel estructural sirven como constituyentes de moléculas biológicas vitales (Villa I. et al., 1999).

El normal funcionamiento de los organismos vivientes requiere un balance cuidadoso y un equilibrio delicado entre los diferentes elementos que ellos necesitan para realizar sus funciones vitales (Baran, 1995). Esto significa que aun un elemento esencial puede transformarse en tóxico, cuando se pasan ciertos límites de concentración (Baran, 1995; Nielsen, 2000)

2.10 Metales a Analizar

2.10.1 Plomo (Pb)

El plomo por siglos ha sido conocido como un tóxico metabólico acumulativo. Es de preocupación la posibilidad de una exposición continua de bajas concentraciones de este metal como consecuencia de la contaminación generalizada del medio ambiente que puede resultar en efectos adversos para la salud. El plomo es mutágeno y teratógeno cuando es absorbido en cantidades excesivas, tiene propiedades carcinogénicas y afecta la reproducción y las funciones del hígado y tiroides, además interfiere en la resistencia a enfermedades infecciosas (Eisler R., 2007).

Los usos industriales y corrientes del plomo son muy numerosos. Se emplea en la fabricación de pilas, en la producción de tetraetilplomo que sirve como antidetonante de la gasolina, en la fabricación de pigmentos y pinturas, en depósitos y contenedores de bebidas y alimentos. Por todo ello, la contaminación en mayor o menor grado del aire, aguas y alimentos con plomo es frecuente (Florez J., 1998).

Las plantas no acumulan plomo, sin embargo es un contaminante habitual de los alimentos debido a su abundante presencia en las partículas de polvo las cuales pueden depositarse sobre las cosechas o durante el procesado de los alimentos. Los alimentos y la ingesta directa de las partículas de polvo son la causa mayoritaria del ingreso de plomo al organismo, estimada en Estados Unidos en 50 µg/día. En las zonas urbanas o a lo largo de las autopistas, los niveles de plomo en el polvo generalmente superan los 100 ppm, sin embargo, los niveles de plomo en las áreas rurales alcanzan sólo los 10-20 ppm (Spiro T. y Stigliani W., 2004).

La Unión Europea en su revisión del 2008 para el contenido máximo de metales pesados en productos alimenticios establece que para cereales, legumbres frescas y legumbres secas la cantidad de Pb debiera ser de $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso fresco.

La legislación Chilena en su decreto 977 del Reglamento Sanitario de los Alimentos, establece para cereales, legumbres y leguminosas un límite máximo de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

A parte del plomo ambiental, la mayor fuente de incorporación sigue siendo la dieta (Baran J., 1995).

2.10.2 Mercurio (Hg)

El mercurio es un elemento que no tiene una función metabólica. Su presencia en las células del organismo representa fuente de contaminación natural y antropogénica; toda contaminación debe ser considerada como indeseable y potencialmente peligrosa.

Acumulación de mercurio en tejidos aumenta el riesgo de alteraciones al miocardio, incrementa el riesgo de muerte por enfermedades coronarias y acelera la progresión de aterosclerosis carótida (Eisler, 2007).

La elevada toxicidad del mercurio se debe a su gran reactividad con grupos $-SH$ presentes en las proteínas del organismo; de este modo se fija a membranas e inactiva múltiples enzimas de los seres vivos (Florez J., 1998).

En la atmósfera, el mercurio está presente sobre todo como Hg^0 elemental que se convierte fácilmente en Hg^{+2} en el interior de la planta. El Hg inorgánico puede ser translocado desde las

hojas de arroz hacia los granos. Las plantas que crecen en suelos contaminados pueden acumular cantidades altas de Hg, más de lo común (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

Las principales fuentes de contaminación por mercurio en los alimentos son los residuos emitidos directamente a la atmósfera (operaciones de minería, combustiones de carbón, aceites y grasas, actividades volcánicas, etc); los residuos de uso industrial; industria cosmética y farmacéutica, residuos de uso agrícola, etc. Este metal, en forma de mercurio metálico no es frecuente en los alimentos, absorbiéndose mal y eliminándose rápidamente (Centrich S., 1999).

La legislación Chilena en su decreto 977 del Reglamento Sanitario de los Alimentos, establece para cereales, legumbres y leguminosas un límite máximo de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$.

La toxicidad del mercurio depende de su forma química, los compuestos alquilmercúricos son los más dañinos. Las preocupaciones respecto del mercurio se basan en sus efectos tanto en el ecosistema como en la salud humana. La principal vía de exposición es el consumo de pescado contaminado (Ebdon L. et al., 2001).

2.10.3 Cadmio (Cd)

Es un metal relativamente raro, habitualmente está presente en pequeñas cantidades en minerales de zinc, y es comercialmente obtenido como un subproducto industrial de la producción de zinc, cobre y plomo. Los mayores usos de cadmio son en acero galvanizado, en producción de pigmentos y en la manufactura de estabilizadores de plástico y baterías. El origen antropogénico de cadmio incluye fundiciones de metales, los productos de incineración de materiales que

contienen cadmio, combustibles fósiles, fertilizantes, aguas servidas municipales y descarga de lodo (Eisler, 2007).

Por un lado, el cadmio puede desplazar al zinc de algunos de sus sitios activos y por el otro, compite con el calcio en ciertos sistemas biológicos y también puede ser incorporado al hueso, ocupando los sitios de calcio (Baran, 1995). Además, esta similitud explica por qué este elemento es acumulado de forma activa por las plantas, ya que el zinc es un nutriente esencial para ellas (Spiro T. and Stigliani W., 2004).

El cadmio es uno de los metales más tóxicos para el humano, principalmente debido a su habilidad para combinarse con los grupos sulfhidrilos, por lo tanto altera el funcionamiento de los grupos SH de varias enzimas, lo que lleva a cambios en las proteínas. En 1960 en Japón es reconocida la enfermedad llamada *Itai-Itai* que ha aumentado la atención prestada a la contaminación ambiental por Cd y su impacto en la salud (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

Los alimentos vegetales tienen concentraciones variables de cadmio (de 0,005 a 0,100 ppm) que son proporcionales a la concentración del metal en el suelo. Aunque algunas plantas como el arroz y el trigo tienen capacidad de acumularlo (Herrera A. y Conchello P., 1999).

La Unión Europea en su revisión del 2008 para el contenido máximo de metales pesados en productos alimenticios establece que para el salvado, germen, trigo y arroz la cantidad de Cd no debiera sobrepasar los $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso fresco.

2.10.4 Arsénico (As)

Es un elemento que se encuentra comúnmente en aire, agua y suelo, y es usado extensamente en medicina, agricultura e industrias. La mayor parte del arsénico que existe en el medio ambiente se debe a la actividad humana, y proviene de la manufactura de productos agrícolas tales como insecticidas, herbicidas, fungicidas, plaguicidas, agentes preservantes, y estimulantes del crecimiento de plantas y animales. Y de otros orígenes antropogénicos, tales como emisiones atmosféricas de refinerías, plantas de poder y spray atmosféricos (Alarcón, 2003).

El arsénico se encuentra omnipresente en los alimentos, ya que cantidades mínimas del mismo se incorporan por contaminación. Los alimentos de origen vegetal y animal presentan contenidos de As relativamente bajos. Sin embargo, los alimentos de origen marino muestran contenidos de contaminante más altos que el resto, de forma que la cantidad total de arsénico ingerida por el hombre, depende de la cantidad de dichos alimentos en su dieta (Carbonell A. et al. 1995).

El arsénico es un elemento que suscita gran preocupación, tanto del punto de vista ambiental como en la salud humana. La ingestión a través de los alimentos o el agua (por lo general como compuestos inorgánicos) es la principal vía de este metaloide al organismo, donde la absorción tiene lugar en el estómago y los intestinos, pasando posteriormente a la sangre. Hoy en día se sabe que las diferentes especies de arsénico producen diversos efectos toxicológicos en seres humanos, siendo las formas inorgánicas más tóxicas que las orgánicas (Ebdon L. et al., 2001).

Un estudio que evaluó la variabilidad de arsénico en 204 muestras de arroz comercial, determinó rangos entre 0,005 a 0,710 mg kg⁻¹. Comparando estos datos con diversa literatura, estableciendo valores “normales” a nivel mundial para el arroz entre 0,08 y 0,20 mg kg⁻¹ (Zavala Y. and Duxbury J., 2008).

La legislación Chilena en su decreto 977 del Reglamento Sanitario de los Alimentos, establece para cereales, legumbres y leguminosas un límite máximo de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

2.10.5 Cobre (Cu)

Este elemento es abundante en el medio ambiente, y esencial para el crecimiento normal y el metabolismo de todos los organismos vivos (Eisler, 2007).

El cobre es el tercer metal de transición más abundante en el cuerpo humano, luego del hierro y el zinc (Baran J., 1995).

Es parte de muchas enzimas, que catalizan procesos de oxidación y reducción (Vollmer G. et al., 1999).

Las fuentes naturales de exposición al cobre son el polvo arrastrado por el viento, los volcanes, la vegetación en descomposición, los incendios forestales y la dispersión marina. Entre las emisiones antropogénicas cabe mencionar los hornos de fusión, las fundiciones y refinamiento de hierro, las centrales eléctricas y fuentes de combustión como los incineradores municipales (IPCS, 2000). Además, se pueden encontrar en fertilizantes, pesticidas y fungicidas (Eisler, 2007).

El rango y contenido medio de Cu en vegetales de consumo varía en los granos de arroz entre $0,5\text{--}5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco y en los granos de trigo entre $2,1\text{--}10,3 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

El cobre puede ser un tóxico muy potente si se le permite acumular en exceso en las células (Harris, 1991).

2.10.6 Manganese (Mn)

El manganeso es uno de los elementos traza más abundante en la litosfera (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

El manganeso es un elemento esencial. Está involucrado en el metabolismo de hidratos de carbono y lípidos, como también en la función cerebral (INTA, 1998).

También es conocido que el Mn^{+2} está involucrado en los procesos de expresión de genes y en la estabilidad de la estructura del ADN (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007)

La extracción de los minerales de manganeso, los procesos metalúrgicos y otras utilidades industriales del metal pueden causar contaminación por humos, polvo y aerosoles, principalmente de óxidos de manganeso. También puede existir cierta contaminación del medio ambiente debido a la utilización de compuestos de manganeso para fabricar linóleo, material pirotécnico y pilas secas, y la introducción del metal en fertilizantes y fungicidas (PNUMA, 1980).

El rango y contenido medio de Mn en vegetales de consumo varía en los granos de arroz entre 4,0–39,0 mg kg⁻¹ peso seco y en los granos de trigo entre 10,0 – 103,0 mg kg⁻¹ peso seco (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

Una excesiva ingesta de manganeso causa efectos adversos psicológicos, particularmente neurológicos (Gray, 1996). Un déficit, puede provocar problemas en la estructura ósea y de reproducción (Baran, 1995).

2.10.7 Zinc (Zn)

El zinc es un elemento traza esencial para todos los organismos vivos, forma parte de más de 200 metaloenzimas y otros compuestos metabólicos, asegura la estabilidad de moléculas biológicas tal como el ADN y estructuras biológicas, como membranas y ribosomas (Eisler, 2007).

Este elemento está presente no sólo en la roca y el suelo, sino también en el aire, el agua, la biosfera, plantas, animales y seres humanos. El zinc es transportado constantemente por la naturaleza, por un proceso llamado ciclo natural. La lluvia, la nieve, el hielo, el sol y el viento erosionan las rocas y el suelo que contienen zinc. El viento y el agua llevan pequeñas cantidades de zinc a los lagos, ríos y mar, donde se acumula como sedimento o es transportado. Fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas de polvo, y la espuma del mar, contribuyen al ciclo continuo de zinc a través de la naturaleza (Prasad, 2008).

El mayor origen antropogénico de zinc en el ambiente incluye fundiciones y procesadores de mineral, drenajes de mina, aguas residuales domésticos e industriales, combustión de basura sólida y combustibles fósiles, corrosión de superficies galvanizadas y aleaciones de zinc, y erosión de suelos agrícolas (Eisler, 2007).

Legumbre y cereales son las principales fuentes de zinc para la mayoría de las personas (Nordberg G. et al., 2005).

El contenido de zinc en los alimentos es muy importante, por lo tanto, se ha sugerido que los niveles elevados de zinc en los alimentos básicos puede jugar un papel en la reducción de deficiencia de zinc (Prasad, 2008).

El rango y contenido medio de Zn en vegetales de consumo varía en los granos de arroz entre 7,2–28,0 mg kg⁻¹ peso seco y en los granos de trigo entre 19,0 – 47,0 mg kg⁻¹ peso seco (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

2.10.8 Calcio (Ca)

Es el catión más abundante en el organismo. La mayor parte del calcio corporal se encuentra en el tejido óseo y en los dientes, formando parte de su estructura junto con el fosfato. Este elemento mineral es esencial para la transmisión del impulso nervioso, la excitabilidad neuronal y la formación de neurotransmisores, para el adecuado funcionamiento del músculo cardíaco, el mantenimiento del tono del músculo esquelético y la contracción del músculo liso. También es necesario para los procesos de coagulación sanguínea. Asimismo, actúa como segundo mensajero y participa en la regulación de los mecanismos de transporte en las membranas celulares e intracelulares, en la secreción de jugos y hormonas, y en la liberación y activación de numerosas actividades enzimáticas intracelulares y extracelulares (Perez F. et al., 2005).

Osteoporosis y Osteomalacia son las manifestaciones más comunes de la deficiencia del Ca (Koisek, 2003).

2.10.9 Magnesio (Mg)

El magnesio juega un papel clave como ión esencial en muchas reacciones enzimáticas fundamentales del metabolismo intermediario (INTA, 1988).

Desempeña un papel importante como cofactor y activador de más de 300 reacciones enzimáticas, incluyendo glicólisis, metabolismo del ATP, transporte de elementos tales como Na, K, y Ca a través de membranas, la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, y la excitabilidad neuromuscular. La deficiencia de magnesio aumenta el riesgo en los seres humanos a desarrollar patologías tales como: hipertensión, arritmias cardíacas, enfermedad vascular como arteriosclerosis, infarto agudo al miocardio, eclampsia en mujeres embarazadas (Koisek, 2003).

2.10.10 Hierro (Fe)

El hierro es uno de los metales más importante y uno de los principales constituyentes de la litosfera (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

El hierro aparece como el elemento de transición más ampliamente difundido entre los seres vivientes, encontrándose en todas las formas de vida y han desarrollado también diversos sistemas de captación, transporte y almacenamiento de hierro que les permite retener cantidades importantes del elemento en sus tejidos (Baran J., 1995).

Está presente en todas las células del organismo y juega un rol fundamental en muchas reacciones bioquímicas. Se encuentra en varias enzimas responsables del transporte de electrones, de la activación del oxígeno y del transporte de oxígeno (INTA, 1988).

De todos los elementos traza esenciales, el hierro es el que se requiere en una mayor cantidad para la vida y, los requerimientos diarios de hierro dependen de la edad, sexo, estado fisiológico y la biodisponibilidad del mismo (Spiro and Stigliani, 2004; WHO, 2003).

Varios cereales de grano contienen una cantidad de Fe que varía desde 31 a 98 mg kg⁻¹. La deficiencia de hierro favorece la anemia y reduce la disponibilidad de otros nutrientes. La anemia por deficiencia de hierro, especialmente en niños pequeños, produce palidez, fatiga y susceptibilidad a las infecciones. En la mayoría de casos, sin embargo, es el resultado de la mala absorción y no de la baja ingesta de Fe (Kabata-Pendias and Mukherjee A.B., 2007).

2.11 Hipótesis de trabajo

Los antecedentes antes expuestos permiten desarrollar la siguiente hipótesis: Las muestras de Arroz (*Oryza sativa*) y Trigo Mote (*Triticum aestivum*) recolectadas en los diferentes supermercados debieran presentar niveles aceptables de metales esenciales (Cu, Zn, Fe, Mn, Mg, Ca) en sus variedades comerciales, y a su vez no presentar metales no esenciales (Pb, Cd, As, Hg).

2.12 Objetivo general

Determinar el nivel de elementos traza (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe) en Arroz y Trigo mote, de diferentes países de origen, recolectados en los supermercados de la ciudad de Valdivia.

2.13 Objetivos específicos

- Recolectar muestras de Arroz y Trigo Mote, de variedades comerciales y origen, en diferentes supermercados de Valdivia, para su posterior análisis.
- Determinar y cuantificar Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe en las muestras de los granos de arroz y trigo mote, según corresponda.

- Conocer los niveles de concentración de los metales: Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe, en muestras de distinta procedencia y marca comercial, y comparar la concentración promedio de dichos metales.
- Obtener información necesaria que sirva como patrón de comparación, como base de dato chilena para determinar posteriormente un posible impacto en la salud.
- Correlación entre las diferentes marcas y países de origen de los cereales, y el contenido de elementos traza.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis se recolectaron diferentes marcas, de diferentes países de origen, de Arroz y Trigo Mote disponibles en el comercio.

Las muestras se obtuvieron desde el mismo supermercado. Luego, fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis.

3.1 Plan de trabajo (Cronograma)

Etapa 1. Se compraron las muestras de arroz y trigo mote, de diferentes marcas, en distintos supermercados de la ciudad de Valdivia.

Etapa 2. Se secaron las muestras en una estufa Memmert a 60° C.

Etapa 3. Digestión de muestras en Horno Digestor de Microondas.

Etapa 4. Se analizaron las muestras en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

3.2 Resumen de las muestras

Grano	Tipo	Origen	Marca
Arroz	Grano largo	Argentino	Carozzi tipo Asiático
	Grano largo	Argentino	Bonanza Grado 2
	Grano largo	Argentino	A cuenta
	Grano largo	Argentino	Aruba Grado 2
	Grano largo	Chino	Carozzi Pregraneado
	Grano largo	Chileno	Tucapel Espinaca
	Grano largo	Chileno	Tucapel Tomate
	Grano largo	Chileno	Tucapel Pollo
	Grano largo	Chileno	Miraflores Grado 2
	Grano largo	Chileno	Tucapel Grado 1
	Grano largo	Chileno	Campo Lindo
	Grano largo	Chileno	Banquete Premium
	Grano largo	Chileno	Líder Premium
	Grano largo	Chino	Banquete Pregraneado
	Grano largo	Uruguayo	Aruba Grado 1
	Grano largo	Tailandés	Bonanza Grado 1
	Grano largo	Argentino	Los chinos Grado 2
	Grano largo	Uruguayo	Los chinos Grado 1
	Grano corto	Chileno	Loncomilla
	Grano largo	Uruguayo	Zaror
Arborio	Italiano	Lodigiano	
Trigo	-----	Desconocido	Desconocido
	-----	Chileno	Farema

3.3 Tratamiento de muestras secas

Una vez en el laboratorio, se pesaron las muestras. Cada porción obtenida, fue colocada en un vaso precipitado dentro de una Estufa Memmert, modelo UE 600 a 60° C., por un período de 3 a 5 días hasta obtener peso constante. Para luego proceder a un segundo proceso de maceramiento con un mortero de porcelana hasta completa homogeneidad.

Una vez homogenizadas las muestras en su totalidad, se procedió a pesar en balanza analítica 1,0 g de las muestras de arroz y 0,5 g de las muestras de trigo; con una incerteza de 0,1 mg de cada muestra por triplicado, para la determinación de los metales (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe).

Luego se comienza la digestión ácida agregando a las muestras de arroz 1 mL de perhidrol (H_2O_2) al 30%, 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado y 5 mL de agua (H_2O).

A las muestras de trigo mote se les agregó 1 mL de perhidrol (H_2O_2) al 30% y 7 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado.

Esto con el fin de digerir la materia orgánica y liberar los metales de las muestras, para luego ser introducidas al Horno Digestor de Microondas Milestone, modelo Start-D donde se produce la total digestión de las muestras.

A continuación, cada solución resultante de la digestión fue colocada en matraces aforados de 10 mL, donde el volumen restante es completado con agua deionizada, obteniendo finalmente un volumen total de 20 mL para cada muestra en solución.

3.4 Análisis de las muestras secas

Finalmente, las soluciones resultantes fueron analizadas, de tal manera que para la determinación de Pb, Cd, Cu, Mn, Mg, Ca, Zn y Fe se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica en su modalidad llama, Thermo, modelo S-Series, acoplado a un generador de hidruros, Thermo, modelo VP-100 para la determinación de As y Vapor frío para determinar Hg.

La curva de calibración la realiza automáticamente el equipo en base a estándares de cada metal, previamente preparados a partir de estándares de 1000 mg/L (Merck).

4. RESULTADOS

Los resultados de las concentraciones de los elementos traza esenciales y no esenciales obtenidos en las diferentes muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) comercializados en Valdivia - Chile se encuentran en el ANEXO 3, en las tablas N°9 y N°10. Además en la tabla N°11 se resume estadística básica.

4.1 Metales Analizados

4.1.1 Plomo (Pb)

El análisis de este elemento para los diferentes granos de cereales, tanto de arroz (*Oryza sativa*) como de trigo mote (*Triticum aestivum*) presentaron valores inferiores al límite de cuantificación del equipo, que son 0,97 (mg kg⁻¹) y 1,94 (mg kg⁻¹) respectivamente.

4.1.2 Mercurio (Hg)

La presencia de este elemento se encontró en algunas muestras de granos de arroz (*Oryza sativa*), obteniendo un valor promedio de 0,004 (mg kg⁻¹) peso seco para las muestras recolectadas en los supermercados de Valdivia - Chile.

Mientras que los granos de trigo mote (*Triticum aestivum*), presentaron valores inferiores al límite de cuantificación del equipo, que fue 0,002 (mg kg⁻¹).

4.1.3 Cadmio (Cd)

El valor promedio de cadmio que se encontró en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) fue de 0,01 (mg kg⁻¹) y 0,29 (mg kg⁻¹) peso seco respectivamente.

4.1.4 Arsénico (As)

La presencia de este elemento en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) arrojó un promedio de 0,30 mg kg⁻¹ peso seco. Y en las muestras de trigo mote (*Triticum aestivum*) se obtuvo valores menores al límite de cuantificación del equipo, que fue 0,04 (mg kg⁻¹).

4.1.5 Cobre (Cu)

El valor promedio de este elemento en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y de trigo mote (*Triticum aestivum*) fue de 1,98 (mg kg⁻¹) y 2,72 (mg kg⁻¹) peso seco respectivamente.

4.1.6 Manganeso (Mn)

Este elemento en los granos de arroz (*Oryza sativa*) presentó un promedio de 8,87 (mg kg⁻¹) peso seco y en los granos de trigo mote (*Triticum aestivum*) un promedio de 11,3 (mg kg⁻¹) peso seco.

4.1.7 Zinc (Zn)

El valor promedio de este elemento en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y de trigo mote (*Triticum aestivum*) fue de 14,0 (mg kg⁻¹) y 14,2 (mg kg⁻¹) peso seco respectivamente.

4.1.8 Calcio (Ca)

El valor promedio de este elemento en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y de trigo mote (*Triticum aestivum*) fue de 40,6 (mg kg⁻¹) y 322 (mg kg⁻¹) peso seco respectivamente.

4.1.9 Magnesio (Mg)

El valor promedio de magnesio en las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) fue de 279 (mg kg⁻¹) y 919 (mg kg⁻¹) peso seco respectivamente.

4.1.10 Hierro (Fe)

Este elemento en los granos de arroz (*Oryza sativa*) presentó un promedio de 9,48 (mg kg⁻¹) peso seco y en los granos de trigo mote (*Triticum aestivum*) un promedio de 25,6 (mg kg⁻¹) peso seco.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con los valores de metales traza no esenciales y esenciales, de diversas publicaciones que hay respecto al contenido total en arroces y trigo de diversas características (ANEXO 2, Tablas: 12 a la 17).

La biodisponibilidad de metales pesados en los granos de cereales depende de diversos factores, entre los que se encuentran los propios del suelo en los que se cultivan y la contaminación natural o antropogénica principalmente. Aunque cabe destacar que no hay estudios sistemáticos de una influencia significativa que relacione el entorno y la composición química de elementos no esenciales en los granos de cereales.

La Unión Europea y el Codex General para contaminantes y toxinas en alimentos especifica el contenido máximo de Plomo y Cadmio permitido en cereales.

En tanto que la Legislación Chilena, en el Reglamento Sanitario de los Alimentos del año 2010 especifica el contenido máximo en cereales de Arsénico, Mercurio y Plomo.

El Plomo presentó valores bajo el límite de cuantificación del equipo en todas las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) analizadas en este estudio (ANEXO 3, Tabla N°3 y N°5)

El Mercurio se presentó en tres marcas de arroz (*Oryza sativa*). Tucapel tomate, Tucapel pollo; ambos de origen Chileno, y en Los Chinos grado 2 de origen Argentino. Las concentraciones fueron: 0,02 – 0,03 – 0,03 mg kg⁻¹ peso seco respectivamente (ANEXO 2, Tabla N°3). El resto de las muestras presentaron valores bajo el límite de cuantificación del equipo (< 0,001).

El Cadmio se presentó en la marca de arroz Lodigiano de origen Italiano con un valor de 0,27 mg kg⁻¹ peso seco (ANEXO 3, Tabla N°3) y en el trigo mote granel de origen desconocido un valor de 0,58 mg kg⁻¹ peso seco (ANEXO 2, Tabla N°5).

El Arsénico se presentó en todas las marcas de arroz con concentraciones que fluctuaron entre 0,98 y 0,08 mg kg⁻¹ peso seco. La concentración más alta se detectó en la marca Tucapel espinaca de origen Chileno, mientras que la concentración más baja en Líder premium también de origen Chileno (ANEXO 2, Tabla N°4).

Según la Legislación Chilena con su Decreto Sanitario de los Alimentos, las tres muestras de arroz de origen Chileno con las mayores concentraciones de Arsénico: Tucapel espinaca, Tucapel tomate y Tucapel pollo con valores de 0,98 – 0,56 – 0,64 mg kg⁻¹ peso seco respectivamente, se encuentran fuera del valor máximo permitido que es 0,5 mg kg⁻¹ (ANEXO 2, Gráfico N°4.1).

En tanto, las muestras de trigo mote presentaron valores menores al límite de cuantificación del equipo (< 0,04) (ANEXO 2, Tabla N°5).

Para el Cobre las concentraciones en las muestras de arroz fluctuaron entre 1,55 y 3,00 mg kg⁻¹ peso seco. Siendo la menor concentración hallada en la marca Tucapel espinaca de origen Chileno y la mayor en Los Chinos Grado 1 de origen Uruguayo (ANEXO 2, Tabla 1, Gráfico 1.1). Mientras que las muestras de trigo mote granel presentaron una concentración de 2,66 mg kg⁻¹ peso seco y las de trigo mote farema de origen Chileno una concentración de 2,78 mg kg⁻¹ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

Las concentraciones de Manganeso en las muestras de arroz variaron entre 6,24 mg kg⁻¹ peso seco en Carozzi Pregraneado y 12,8 mg kg⁻¹ peso seco en Loncomilla Sopa; ambos de origen Chileno (ANEXO 2, Tabla N°1, Gráfico 1.2). En tanto, las muestras de trigo mote granel

presentaron una concentración de $11,7 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco y las de trigo mote farema de origen Chileno, una concentración de $10,9 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

El Zinc presentó en las muestras de arroz concentraciones que fluctuaron entre $6,93 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco en la marca Zaror Pregraneado y $19,2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco en la marca Aruba Grado 1, ambos de origen Uruguayo (ANEXO 2, Tabla N°1, Gráfico 1.3). Mientras que las muestras de trigo mote granel presentaron una concentración de $13,2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco y las de trigo mote farema, de origen Chileno, una concentración de $15,3 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

Para el Calcio las concentraciones se encontraron entre $15,3$ y $81,0 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco, presentándose la menor concentración en los Los Chinos Grado 1 de origen Uruguayo y la mayor concentración en el arroz Tucapel espinaca de origen Chileno (ANEXO 2, Tabla N°1, Gráfico 1.4). En tanto, en las muestras de trigo mote granel se detectó una concentración de $2,35 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco y en las muestras de trigo mote farema de $4,09 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

El Magnesio presentó concentraciones que fluctuaron entre $1,58 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco en el arroz marca A cuenta Grado 2 y de $4,90 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco en el arroz marca Aruba Grado 2, ambos de procedencia Argentina (ANEXO 2, Tabla N°1, Gráfico 1.5). En las muestras de trigo mote granel la concentración fue de $7,45 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco y de $10,9 \times 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ en las muestras de trigo mote farema de origen Chileno (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

El Hierro presentó concentraciones entre $1,00$ y $37,3 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco, siendo el menor valor para el arroz marca Bonanza Grado 2 de origen Argentino y el mayor valor para Tucapel espinaca de origen Chileno (ANEXO 2, Tabla N°1, Gráfico 1.6). En tanto, en las muestras de

trigo mote granel se detectó una concentración de 24,4 mg kg⁻¹ peso seco y en las muestras de trigo mote farema de 26,7 mg kg⁻¹ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 2).

Según el país de origen, las muestras de arroz de procedencia Argentina presentaron una concentración promedio de Mercurio de 0,03 mg kg⁻¹ peso seco y las muestras de procedencia Chilena de 0,02 mg kg⁻¹ peso seco (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°6). En tanto, la concentración promedio de Cadmio en las muestras de arroz fue de 0,27 mg kg⁻¹ peso seco de origen Italiano (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°7). Para el Arsénico las concentraciones promedio en las muestras de arroz origen Argentino, Chileno, Chino, Italiano, Tailandés, Uruguayo fueron 0,23 mg kg⁻¹, 0,43 mg kg⁻¹, 0,21 mg kg⁻¹, 0,24 mg kg⁻¹, 0,23 mg kg⁻¹, 0,14 mg kg⁻¹ peso seco respectivamente (ANEXO2, Tabla y Gráfico N°8).

Al comparar los resultados de los metales traza esenciales obtenidos en este estudio con otros estudios hechos a granos de arroz (*Oryza sativa*) se obtuvieron los siguientes resultados (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°12) y (ANEXO2, Tabla y Gráfico N°13):

- Para Cobre la concentración promedio en este estudio fue 1,98 mg kg⁻¹, similar al estudio de Wolnik *et al.*, 1985. Sin embargo, el estudio realizado por Jiang *et al.*, 2007 el promedio fue de 9,96 mg kg⁻¹. La tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 2,4 mg kg⁻¹.
- Para Manganeso se obtuvo una concentración promedio en este estudio de 8,87 mg kg⁻¹, similares a los resultados obtenidos en los análisis de Wolnik *et al.*, 1985 y Jiang *et al.*, 2007. Para el estudio de Parengam *et al.*, 2010 el promedio es de 19,7 mg kg⁻¹. En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 11 mg kg⁻¹.
- Para Zinc, tanto en este estudio como en el de Wolnik *et al.*, 1985 la concentración promedio es de 14,0 mg kg⁻¹. En tanto, el estudio de Jiang *et al.*, 2007 obtuvo un

promedio de 26,0 mg kg⁻¹ y en Parengam *et al.*, 2010 un promedio de 20,7 mg kg⁻¹. Mientras que el autor Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007 entregan un promedio para granos de arroz de 18 mg kg⁻¹. En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 14 mg kg⁻¹.

- Para el Calcio, en este estudio se obtuvo un promedio de 40,6 mg kg⁻¹ peso seco, similar al valor obtenido en el estudio de Wolnik *et al.*, 1985. Mientras que en el estudio de Jiang *et al.*, 2007 el valor es mayor, de 119 mg kg⁻¹ peso seco. En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 250 mg kg⁻¹.
- Para el Magnesio el valor promedio de la concentración en este estudio fue 279 mg kg⁻¹, en el estudio de Wolnik *et al.*, 1985 fue de 235 mg kg⁻¹ y en el estudio de Jiang *et al.*, 2007 fue de 195 mg kg⁻¹. La tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 1550 mg kg⁻¹.
- Para el Hierro el valor promedio en este estudio fue 9,48 mg kg⁻¹, en el estudio de Wolnik *et al.*, 1985 fue de 3,60 mg kg⁻¹. Mientras que en los estudios de Jiang *et al.*, 2007 y Parengam *et al.*, 2010 los valores fueron similares, de 5,40 y 5,44 mg kg⁻¹ peso seco respectivamente. En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 26 mg kg⁻¹.

Al comparar los resultados de los metales traza esenciales obtenidos en este estudio con otros estudios hechos a granos de trigo (*Triticum aestivum*) se obtuvieron los siguientes resultados (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°14) y (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N° 15):

- Para Cobre la concentración promedio en este estudio fue 2,72 mg kg⁻¹ y en el estudio de Skrbic *et al.*, 2005 fue de 5,30 mg kg⁻¹. Mientras que el autor Kabata-Pendias &

Mukherjee, 2007 entregan un promedio para granos de trigo de $4,7 \text{ mg kg}^{-1}$. En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de $6,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

- Para Manganeseo se obtuvo una concentración promedio en este estudio de $11,3 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras que los resultados obtenidos fueron superiores en los análisis de Skrbic *et al.*, 2005 con un promedio de $50,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Mientras que el autor Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007 entregan un promedio para granos de trigo de 31 mg kg^{-1} . En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 30 mg kg^{-1} .
- Para Zinc, el valor promedio obtenido en este estudio fue $14,2 \text{ mg kg}^{-1}$ y en Skrbic *et al.*, 2005 fue de $33,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Mientras que el autor Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007 entregan un rango para granos de cereales entre 24 mg kg^{-1} . En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 40 mg kg^{-1} .
- Para el Calcio, la concentración promedio obtenida en este estudio fue de 322 mg kg^{-1} y la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 450 mg kg^{-1} .
- Para el Magnesio, la concentración promedio obtenida en este estudio fue de 919 mg kg^{-1} y la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 1450 mg kg^{-1} .
- Para el Hierro el valor promedio en este estudio fue $25,6 \text{ mg kg}^{-1}$ y en el análisis de Skrbic *et al.*, 2005 fue mayor, con un valor de $80,7 \text{ mg kg}^{-1}$. Mientras que el autor Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007 entregan un promedio para granos de trigo de 33 mg kg^{-1} . En tanto, la tabla de composición de los alimentos entrega un valor de 30 mg kg^{-1} .

Los valores obtenidos en este estudio para el Plomo fueron menores al límite de cuantificación del equipo ($< 0,97 \text{ mg kg}^{-1}$ en arroz y $< 1,94 \text{ mg kg}^{-1}$ en trigo mote), por lo que las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) cumplen con el valor permitido, tanto por la Legislación Chilena como por lo establecido en la Unión Europea. El estudio de Liu *et al.*,

2007 obtuvo un promedio para los granos de arroz de $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$ (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°16).

Al comparar los niveles de Mercurio obtenidos en este estudio con otros análisis hechos a cereales; los valores en trigo mote son menores al límite de cuantificación del equipo ($< 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$) y el valor promedio entre los tres tipos de muestras de arroz (Tucapel Tomate, Tucapel Pollo, Los Chinos Grado 2) en los que se encontró este elemento fue $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ por lo que ambos resultados cumplen con el valor máximo permitido en cereales por la Legislación Chilena. El análisis de Skrbic *et al.*, 2005 obtuvo un promedio para trigo de $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ y en el estudio de Parengam *et al.*, 2010 un promedio para los granos de arroz de $0,19 \text{ mg kg}^{-1}$ (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°17).

Los niveles de Cadmio obtenidos en este estudio para la única marca de arroz (Lodigiano) en la que se encontró este elemento fue de $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$ y las muestras de trigo mote granel fue de $0,58 \text{ mg kg}^{-1}$. Ambos resultados son superiores al límite máximo permitido en cereales por la Unión Europea, que corresponde a un valor de $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ y superior en el caso del trigo mote, a lo que recomienda el Codex General para contaminantes en alimentos. En tanto, la Legislación Chilena-Reglamento Sanitario de los Alimentos Decreto 977, no especifica valores en cereales para el elemento Cadmio. Los análisis hechos por Jorhem *et al.*, 2008; Wolnik *et al.*, 1985; y Liu *et al.*, 2007 en granos de arroz obtuvieron valores de $0,024$, $0,012$ y $0,016 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Y para granos de trigo en el estudio de Skrbic *et al.*, 2005, un valor de $0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ (ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°18).

La concentración promedio de Arsénico obtenidas en este estudio en las muestras de arroz fue de $0,30 \text{ mg kg}^{-1}$ y las muestras de trigo mote menores al límite de cuantificación del equipo ($< 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$), por tanto ambos resultados cumplen con lo estipulado en la Legislación Chilena –

Reglamento Sanitario de los Alimentos Decreto 977, que permite límite máximo en cereales de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

Los análisis para granos de arroz de Jorhem *et al.*, 2008; Zavala *et al.*, 2008; Laparra *et al.*, 2005; Parengam *et al.*, 2010 y Liu *et al.*, 2007 obtuvieron concentraciones que fluctuaron entre 0,10 y $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$. El análisis de Skrbic *et al.*, 2005 en trigo obtiene el mismo valor de concentración que este estudio ANEXO 2, Tabla y Gráfico N°19).

6. CONCLUSIÓN

Las concentraciones de los elementos traza esenciales en el arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*) presentaron varias similitudes, predominando la concentración en ambos alimentos los elementos Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), y en menor cantidad Manganeso (Mn) y Cobre (Cu).

El Plomo (Pb) en todas las muestras, tanto de arroz como trigo mote, presentaron niveles menores al límite de cuantificación del equipo.

El Mercurio (Hg) se detectó en muestras de arroz Los Chinos Grado 2 de origen Argentino y en Tucapel Tomate y Tucapel Pollo, ambas marcas de origen Chileno. Los valores obtenidos cumplen con lo especificado en la Legislación Chilena, en cuanto a las Normas de la Unión Europea, ésta no especifica valores para cereales, solo para alimentos de origen marino.

El Cadmio (Cd) se detectó solo en las muestras de arroz de origen Italiano marca Lodigiano y en las muestras de trigo mote granel de origen desconocido. Ambas concentraciones superan lo establecido por la Unión Europea para la concentración de este metal en cereales. La legislación Chilena no especifica valores para estos alimentos.

En cuanto al Arsénico (As), se presentaron concentraciones en todas las marcas comerciales de arroz de los seis orígenes tomados en este estudio; Argentino, Chileno, Chino, Italiano, Tailandés y Uruguayo. Las concentraciones más altas de este elemento se encontraron en las marcas Tucapel Espinaca, Tucapel Pollo y Tucapel Tomate, todas de origen Chileno. Estas últimas tres muestras están por sobre lo que establece la Legislación Chilena. Mientras que en las muestras de trigo mote, los niveles fueron menores al límite de cuantificación del equipo.

Los patrones de concentración, en base a las concentraciones más elevadas de metales obtenidos en los dos tipos de cereales analizados en este estudio, son los siguientes:

Arroz:

Mg > Ca > Zn > Fe > Mn > Cu > As > Cd > Hg > Pb

Trigo Mote:

Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > Cu > Cd > As – Hg – Pb

El Magnesio (Mg) es el elemento traza que se presentó en mayor concentración en todas las muestras estudiadas, el máximo valor encontrado en arroz fue en la marca Aruba Grado 2 de origen Argentino y en el trigo mote en la marca farema de origen Chileno. En tanto, la mínima concentración encontrada en arroz fue en la marca A cuenta Grado 2 también de origen Argentino y en trigo mote en el obtenido a granel que es de origen desconocido. El valor promedio en este estudio es similar a los reportados en los análisis hechos en Estados Unidos y China. Sin embargo, las concentraciones promedios de los dos alimentos analizados en este estudio son inferiores a los datos entregados en la tabla de composición de los alimentos.

El Calcio (Ca) es el segundo mineral que predomina en todas las muestras de este estudio, en la marca Tucapel Espinaca de origen Chileno se encontró la más alta concentración en el caso del arroz y en la marca farema de origen Chileno en el caso del trigo mote. El valor promedio es similar a los obtenidos en el análisis realizado en Estados Unidos. La concentración promedio de este mineral es el doble en el estudio hecho en China, muchos países en que los cereales son el principal alimento para la población se fortifican para asegurar una mínima ingesta diaria. El valor obtenido en este estudio para las muestras de arroz es muy inferior a los datos que entrega la tabla de composición de los alimentos.

De los elementos traza esenciales, el Cobre (Cu) es el que se presentó en menor concentración en todas las muestras analizadas en este estudio, encontrándose los valores dentro de lo permitido por la Legislación Chilena. El análisis realizado en China para este mineral, obtienen un valor mucho mayor. Para el caso de las muestras de arroz, los valores también son similares a los entregados en la tabla de composición de los alimentos y en las muestras de trigo mote son inferiores.

Las concentraciones promedios de arroz y trigo mote obtenidas en este estudio son similares para los elementos traza esenciales Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn).

En las muestras de trigo mote (*Triticum aestivum*) la concentración de Magnesio (Mg) es el triple del promedio de las muestras de arroz (*Oryza sativa*) y la concentración de Calcio (Ca) también es mucho mayor. Ambos elementos traza esenciales están muy por debajo de los valores entregados en la tabla de composición de los alimentos.

Por lo tanto, en las muestras de arroz y trigo mote los elementos encontrados en mayor concentración fueron Magnesio, Calcio, Zinc, Hierro, Manganeseo y Cobre. Y los elementos que se presentaron en menor concentración fueron Plomo, Mercurio, Cadmio y Arsénico.

Finalmente, se puede concluir que los diferentes granos de arroz (*Oryza sativa*) y trigo mote (*Triticum aestivum*), presentaron niveles aceptables de metales esenciales en relación a los datos de otros estudios; a su vez se determinó la presencia de metales no esenciales como Mercurio, Arsénico y Cadmio en determinadas muestras. Por lo señalado anteriormente, la hipótesis se acepta parcialmente.

7. LITERATURA CITADA

Albert, L. (2001). Curso Básico de Toxicología Ambiental. 2da Ed. Limusa, S. A. de C. V., México, D.F. 311 p.

Alarcón, S. (2003). Determinación de Elementos traza (Cd, Cu, Ni, Pb, Hg y As) en Agua de Mar y Sedimento de la Bahía de Puerto Montt, Año 2002. Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 84 p.

Aykroyd, W. and Doughty, J. (1970). El Trigo en la Alimentación Humana. Estudios sobre Nutrición – FAO. Roma. 185 p.

Baran, J. (1995). Química Bioinorgánica. Mc. Graw-HILL/ INTERAMERICANA, Madrid. 321p.

Bienvenido O., Juliano (1985). Rice: Chemistry and Technology. Unites States of America, 2^a Ed. 774 p.

Bienvenido O., Juliano (1994). El Arroz en la Nutrición Humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 176 p.

Carbonell Barrachina A. A., Burló Carbonell F. M., Mataix Beneyto J. J. (1995). Arsénico en el sistema suelo – planta. Significado ambiental. Universidad de Alicante, España. 139p.

Centrich Sureda, M. (1999). Adulteraciones Alimentarias. Contaminación de alimentos. En: Hernández Rodríguez M. y Sastre Gallego A. (Eds.) Tratado de Nutrición. Díaz de Santos S.A. 475-489 p.

Codex Alimentarius Commision (2007). Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, CODEX STAN 193-1995. 44 p.

Coultate, T. P. (1998). Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos. 2ª Ed. Acribia, Zaragoza.366 p.

Ebdon L., Pitts L., Cornelis R., Crews H., Donard O., Quevauviller P. (2001). Trace Element Speciation for Environment, Food and Health. The Royal Society of Chemistry, Great Britain. 363 p.

Eisler, R. (2007). Eislers`s Encyclopedia of environmentally Hazardous Priority Chemicals. Elsevier Science Ltd, 986 p.

Fifield, F.W. & Haines, P.J. (2000). Environmental Analytical Chemistry. 2ª Ed. Blackwell Science, Malden, Mass. 490 p.

Fifield, F.W. & Kealy, D. (2000). Principles and Practice of Analytical Chemistry. 5ª Ed. Wiley-Blackwell, Malden, Mass. 562 p.

Florez, J. (1998). Farmacología Humana. 3^a Ed. Masson, Barcelona. 1355 p.

Fu J., Zhou Q., Liu J., Liu W., Wang T., Zhang Q., Jiang G. (2008). High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere* 71: 1269 -1275.

Gray, N. F. (1996). Calidad del Agua Potable, Problemas y Soluciones. Acribia S.A., Zaragoza, España, 365 p.

Harris, E. D. (1991). Copper transport: an overview. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 196: 130-140.

Harrison, P. & Hoare, R. (1980). Metals in Biochemistry, Chapman & Hall (Eds.), London, Chap.1.

Herrera Marteache A., Conchello Moreno P. (1999). La cadena alimentaria como riesgo para la Salud Pública – Contaminación y Alteración Alimentaria. En: Hernández Rodríguez M. y Sastre Gallego A. (Eds.). Tratado de Nutrición. Díaz de Santos S.A., Madrid. 503 – 541 p.

INTA, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos. (1988). Conocimientos actuales de Nutrición. Universidad de Chile, Santiago.

IPCS, International Programme Chemical Safety. (2000). Environmental Health Criteria, Cooper. World Health Organization, Geneva, Suiza.

Jiang S.L., Wu J.G., Feng Y., Yang X.E. and Shi C.H. (2007). Correlation Analysis of Mineral Element Contents and Quality Traits in Milled Rice (*Oryza sativa L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 55, N° 23, 9608 – 9613.

John, D.A. and Leventhal, J.S. (1995). Bioavailability of metals. In: Du Bray (Ed). Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models, Denver, Colorado.U.S. Department of Interior. U.S. Geological Survey.

Jorhem, L. and Sundstöm, B. (1993). Levels of lead, cadmium, zinc, copper, nickel, chromium, manganese and cobalt in foods on the Swedish market, 1983 – 1990. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6, 223 – 241.

Jorhem L., Astrand C., Sundström B., Baxter M., Stokes P., Lewis J. & Petersson K. (2008). Elements in rice from the Swedish market: 1. Cadmium, lead and arsenic (total inorganic). *Food Additives and Contaminants*, 25 (3): 284 – 292.

Kabata-Pendias A. & Mukherjee A.B. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Springer, Berlin. 561 p.

Kasprzak, K. S. (1991). The Role Oxidative Damage in Metal Carcinogenicity. *American Chemical Society*, Vol. 4, N° 6: 604 – 615.

Kastenmayer, P. (1997). Análisis de minerales y elementos traza en alimentos. En: Morón C., Zacarías I., De Pablo S. (Eds.). Producción y Manejo de Datos de Composición Química de Alimentos en Nutrición. Santiago, Chile.

Koisek, F (2003) Health Significance of drinking water calcium and magnesium. National Institute of public Health.

Laparra J.M., Vlez D., Barber R., Farr R., Montoso R. (2005). Bioavailability of Inorganic Arsenic in Cooked Rice: Practical Aspects for Human Health Risk Assessments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.53, N° 22: 8829 – 8833.

Liu W. X., Shen L. F., Liu J. W., Wang Y. W. (2007). Uptake of Toxic Heavy Metals by Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivated in the Agricultural Soil near Zhengzhou City, People's Republic of China. *Bull Environ Contam Toxicol* 79:209–213.

Llobet J.M., Falcó G., Casas C., Teixidó A. and Domingo J.L. (2003). Concentrations of Arsenic, Cadmium, Mercury and Lead in Common Foods and Estimated Daily Intake by Children, Adolescents, Adults and Seniors of Catalonia, Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 51, N° 3: 838 – 842.

Lukšienė B. and Račaitė M. (2008). Accumulation of Heavy Metals in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Oveground and Underground Parts. *Environmental Research, Engineering and Management*, N° 4: 36 – 41.

Mazza, G. (2000). Alimentos Funcionales. Aspectos Bioquímicos y de Procesado. Acribia. Zaragoza. 457 p.

Molina, Luz (2002). Introducción a los alimentos. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias, Chile. 136 p.

NCh 1359.of (2001). Instituto de Normalización. Arroz Pulido-Terminología, Clasificación y Requisitos Generales.

Nebel, B. (1999). Ciencias Ambientales: ecología y desarrollo sostenible. 6ª Ed. Prentice-Hall, México. 698 p.

Nielsen, F. H. (2000). Evolutionary events culminating in specific minerals becoming essential for life. *European Journal of Nutrition*, 39, 62–66.

Nordberg G., Fowler B., Nordberg M., Friberg L. (2005). Handbook on The Toxicology of Metals. 3ª Ed. Copenhagen. 975 p.

Olavarría, Y. (2007). Determinación de trazas de Cadmio en Cholga (*Aulacomya ater*), Chorito (*Mytilus chilensis*) y Ostra chilena (*Ostrae chilensis*) en la zona de Chiloé (Hueihue). Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 117 p.

OMS/FAO. (2007). Codex Alimentarius. Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales. 1ª Ed. Roma. 115 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1999). Los carbohidratos en la nutrición humana. Roma. 153 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2002). Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Roma. 531 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1990). Utilización de los alimentos tropicales: Cereales. Roma. 132 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1981). Límites de Exposición Profesional a los Metales Pesados que se recomiendan por razones de Salud: Informe de un grupo de estudio de la OMS. 126 p.

Orozco C., Pérez A., González M^a, Rodríguez F., Alfayate J. (2003). Contaminación Ambiental, Una Visión desde la Química. Thomson. España, 682 p.

Parengam M., Judprasong K., Srianujata S., Jittinandana S., Laoharojanaphand S., Busamongko A. (2010). Study of nutrients and toxic minerals in rice and legumes by instrumental neutron activation analysis and graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *Science Direct, Journal of Food Composition and Analysis*: 340 – 345.

Pérez F., Garaulet, M. & Zamora, S. (2005). Calcio, fósforo, magnesio y flúor Metabolismo óseo y su regulación. En: Gil, A. (Ed.) Tratado de Nutrición: Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición. España. Acción médica. Tomo I.

PNUMA (1980). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. “El Estado del Medio Ambiente”.

Prasad, M.N.V. (2008). Trace Elements as contaminants and nutrients Consequences in Ecosystems and Human Health. John Wiley & Sons, Inc. Publication, New Jersey. 777p

Pronczuk, J. (2006). Programas y Actividades de la OMS en lo que atañe al mercurio, al plomo y al cadmio. En: IFCS (Internacional Programme on Chemical Safety) – Seguridad Química para el Desarrollo Sostenible. Budapest, Hungría. 33p.

Quiroz E., Alarcón S., Jara J. y Quilodrán B. (2002) “Elementos Traza en Agua y Sedimentos de la Bahía de Puerto Montt”. VI Encuentro de Química Analítica y Ambiental, Octubre 2002, Valdivia.

Reglamento Sanitario de los Alimentos (2010). Legislación Chilena. Biblioteca del Congreso Nacional – Ministerio de Salud. [en línea]

<http://www.leychile.cl/Navegar/?idNorma=71271&idVersion=2010-03-11&idParte>

[consulta: 28-marzo-2010]

Rivero-Huguet M. (2007). Rice as a source of microelements and toxic contaminants. The encyclopedia of earth [en línea] [http://www.eoearth.org/article/Rice \(Oryza sativa L.\) as a source of microelement and toxic contaminants](http://www.eoearth.org/article/Rice_(Oryza_sativa_L.)_as_a_source_of_microelement_and_toxic_contaminants) [consulta: 16-agosto-2010]

Senser, F. (1999). Tablas de composición de los alimentos. El pequeño “Souci-Fachmann-Kraut”. Acribia. Zaragoza-España. 432 p.

Servicio Agrícola y Ganadero (2005). Criterios de Calidad de Suelo Agrícola (en revisión). Participantes E. Acevedo, M. Carrasco, O. León, E., Martínez, P. Silva, G. Castillo, I. Ahumada, G. Borioe y S. González. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Disponible en sitio web <http://www2.sag.gob.cl/RecursosNaturales/criterios_calidad_suelo_agricolas> [consulta: 12-agosto-2010]

Skoog Douglas, Holler James and Nieman Thimoty (2001). Principios de Análisis Instrumental. 5^a Ed. McGraw-Hill, Madrid. 1028 p.

Skrbic B., Durisic-Mladenovic N. and Cvejanov J. (2005). Principal Component Analysis of Trace Elements in Serbian Wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol 53, Nº 6: 2171 – 2175.

Sogorb M. & Vilanova E. (2004). Técnicas analíticas de contaminantes químicos: Aplicaciones Toxicológicas, medioambientales y alimentarias. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 320 p.

Spiro T. G. and Stigliani W. M. (2004). Química Medio Ambiental. 2ª Ed. Pearson Educación, Madrid. 504 p.

Stohs S. J. and Bagchi D. (1995). Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. Vol 18, Issue 2: 321 – 336.

Unión Europea (2008). Contenidos Máximos en Metales Pesados en Productos Alimenticios. [en línea] < <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.htm> > [consulta: 23-marzo-2010]

USFDA/WHO International Workshop on Total Diet Studies (1999). Food Safety Programme Department of Protection of The Human Environment World Health Organization. Kansas, USA.

Valle Vega P., Lucas Florentino B. (2000). Toxicología de los Alimentos. México. 261 p.

Villa Elízaga I., Navarro Blasco Í., Martín Pérez A. (1999). Elementos Traza. En: Hernández Rodríguez M. y Sastre Gallego A. (Eds.) Tratado de Nutrición. Díaz de Santos S.A. 229 - 247 p.

Vollmer G., Josst G., Schencker D., Sturm W., Vreden N. (1999). Elementos de Bromatología Descriptiva. Acribia, Zaragoza. 644 p.

Vullo D. L. (2003). Microorganismos y Metales Pesados: Una interacción en beneficio del Medio Ambiente. *Química Viva*. Vol. 2, Nº 3.

WHO, World Health Organization (2003). Iron in drinking – Water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – Water Quality*.

Wolnik K.A., Fricke F.L., Capar S.G., Meyer M.W., Satzger R.D., Bonnin E. and Gatton C.M. (1985). Elements in Major Raw Agricultural Crops in the United States. 3. Cadmium, Lead, and eleven other Elements in Carrots, Field Corn, Onion, Rice, Spinach and Tomatoes. *Journal Agricultural Food Chemistry*. Vol. 33, Nº 5: 807 – 811.

Zavala Y. J. and Duxbury J. M. (2008). Arsenic in rice: I. Estimating Normal Levels of Total Arsenic in Rice Grain. *Environmental Science & Technology*. Vol. 42, Nº 10: 3856 – 3860.

ANEXO 1

(Metodología de tratamiento de las muestras)

1.1 Procedimiento Analítico de Digestión Ácida en Horno Microondas

El primer paso del procedimiento consiste en pesar alrededor de 1,0 gramo de muestra de arroz (*Oryza sativa*) y 0,5 gramos de muestra de trigo mote (*Triticum aestivum*) homogeneizada, con una precisión de 0,1 mg, previamente secadas.

Una vez pesadas las muestras con sus respectivas réplicas en los vasos de Horno Digestor de Microondas Milestone, modelo Start-D se procede a adicionar a cada vaso que contenga muestras de arroz 1 mL de perhidrol (H₂O₂) al 30%, 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado y 5 mL de agua (H₂O). Y a cada vaso que contenga muestras de trigo mote 1 mL de perhidrol (H₂O₂) al 30% y 7 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado.

Posteriormente, se cierra cada uno de los vasos, se colocan en el horno microondas, luego se digita el programa que corresponda, según lo especificado por el manual de procedimientos.

MICROWAVE PROGRAM PARA MUESTRAS DE ARROZ

Step	Time (minutes)	Temperature (°C)	Microwave power
1	5	85	Up to 1000 Watt
2	10	145	Up to 1000 Watt
3	4	180	Up to 1000 Watt
4	15	180	Up to 1000 Watt

MICROWAVE PROGRAM PARAMUESTRAS DE TRIGO MOTE

Step	Time (minutes)	Temperature (°C)	Microwave power
1	10	200	Up to 1000 Watt
2	10	200	Up to 1000 Watt

1.2 Metodología de la Espectrofotometría de Absorción Atómica

Esta técnica se basa en el principio que los átomos libres en estado fundamental son capaces de absorber radiación a una determinada longitud de onda, que es específica para cada elemento. El grado de absorción de la radiación es directamente proporcional a la concentración del elemento en la muestra. Esta relación se explica por la Ley de Lambert-Beer, en donde la absorción es proporcional a la concentración (Fifield y Haines, 2000).

Las longitudes de onda para cada metal estudiado, se resume en la siguiente tabla:

Metal	Pb	Hg	Cd	As	Cu	Mn	Zn	Ca	Mg	Fe
Longitud de onda (nm)	217,0	253,7	228,8	193,7	324,8	279,5	213,9	422,7	285,2	248,3

La siguiente figura muestra un esquema de un *Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Atomización de Llama*, que es la configuración más clásica de un equipo de absorción atómica.

Consta de un *sistema de nebulización* colocado antes del *atomizador* (una llama). Hay una *fuentes*

de radiación, generalmente una lámpara de cátodo hueco, la cual emite radiaciones de la longitud de onda apropiada para que sea absorbida por un elemento de la muestra que ha sido atomizada en la llama. El *monocromador* selecciona la radiación de la longitud de onda apropiada que llega al *detector*, encargado de cuantificar y registrar la intensidad de la luz que recibe, comparándola con la intensidad emitida por la fuente y transformándola en absorbancia. El detector se acopla a un sistema informático de registro que además controlará el aparato. De esta manera, los datos registrados con la respuesta de patrones de concentración conocida permitirán cuantificar los elementos de la muestra (Sogorb & Vilanova, 2004).

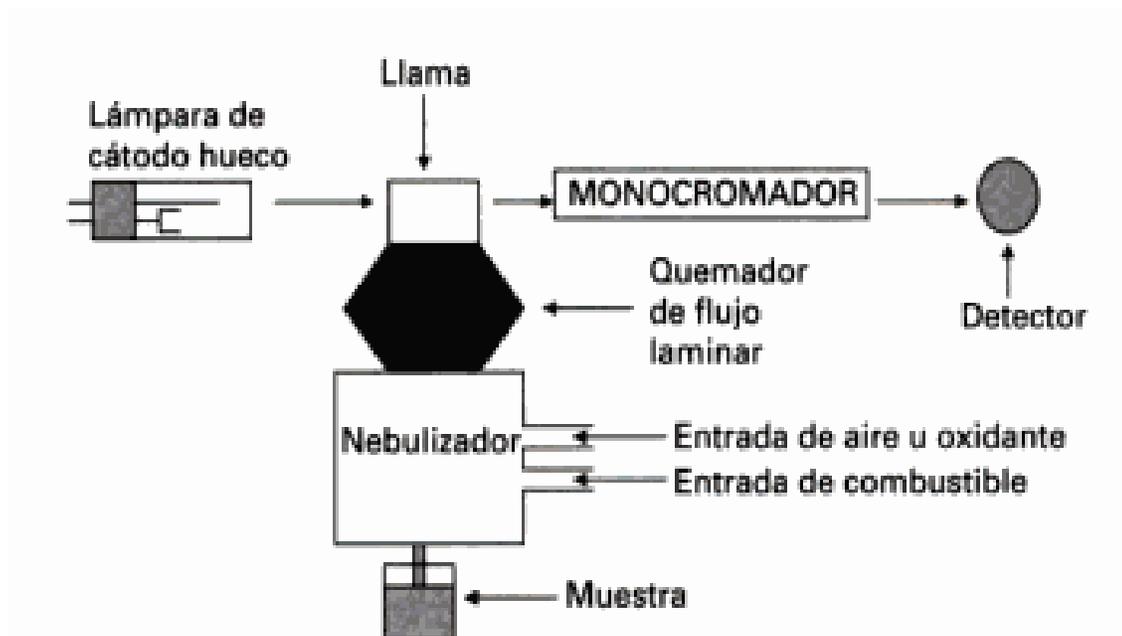


Figura N° 3: Espectrofotómetro de llama de absorción atómica. Extraído del libro “Técnicas analíticas de contaminantes químicos: Aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimentarias” (Sogorb & Vilanova, 2004).

1.3 Análisis de Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe utilizando Espectrofotometría de Absorción Atómica en su modalidad Llama

Para realizar la atomización de la muestra previamente tratada, se utilizó una llama de aire/acetileno con lo cual se alcanza una temperatura entre 2100 y 2400 °C, capaz de formar átomos libres en estado gaseoso y así cuantificar de esta manera los elementos.

1.4 Preparación de los estándares de Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg y Fe

Para la determinación de éstos elementos en las muestras de arroz y trigo mote, se procedió a preparar tres estándares para cada uno de los elementos analizados.

Los estándares para cada elemento se prepararon a partir de estándares certificados, con concentraciones de 1000 ppm (Merck) y con un rango de concentración entre 0,05 y 0,5 µg/L.

1.5 Análisis de las muestras de arroz y trigo mote para determinar Hg

Para determinar este elemento se utilizó la técnica Espectrofotometría de Absorción Atómica Vapor Frío. Este es un método de atomización aplicable solamente a la determinación de mercurio, ya que es el único elemento metálico que tiene una presión de vapor apreciable a temperatura ambiente (Skoog, 2001).

Antes de realizar la medición, a las muestras se les agrega permanganato de potasio (KMnO_4) posteriormente se acidifica con HCl reduciéndose a mercurio elemental por la acción del Borhidruro de sodio (NaBH_4).

1.6 Análisis de las muestras de arroz y trigo mote para determinar As

Para determinar este elemento se utilizó la técnica Espectrofotometría de Absorción Atómica acoplado a un generador de hidruros. En éste método, el analito es reducido a su hidruro volátil, transferido mediante un chorro de gas a un tubo de cuarzo caliente. Para ello, la muestra debe ser tratada con un agente reductor, primero se agrega Yoduro de potasio (KI) y posteriormente Borhidruro de sodio (NaBH_4) en medio ácido (HCl). De esta forma se genera el hidruro volátil Arsina (AsH_3), éste es transportado por un gas inerte hasta la llama aire/acetileno, se descompone y genera vapor elemental de Arsénico, el que finalmente puede ser cuantificado (Fifield y Kealy, 2000).

1.7 Preparación de los estándares de Hg y As

Para determinar el Arsénico y Mercurio en las muestras de arroz y trigo mote, se procedió a preparar tres estándares para cada uno de los elementos analizados.

Los estándares ocupados para cada elemento se preparan a partir de estándares certificados con concentraciones de 1000 ppm (Merck) y con un rango de concentración entre 5 y 40 μ

ANEXO 2

Resultados

(Tablas y Gráficos)

Tabla y Gráficos N°1: Concentración de elementos traza esenciales (mg kg^{-1} peso seco) y su DE (desviación estándar) en diferentes marcas de arroz (*Oryza sativa*).

Metales (mg kg^{-1} peso seco)						
Marca	Cu \pm DE	Mn \pm DE	Zn \pm DE	Ca \pm DE	Mgx10 ⁻² \pm DE	Fe \pm DE
Carozzi tipo Asiático	1,68 \pm 0,08	10,5 \pm 0,2	12,3 \pm 0,1	44,8 \pm 0,1	3,43 \pm 0,09	1,99 \pm 0,09
Bonanza Grado 2	1,91 \pm 0,11	7,97 \pm 0,18	18,6 \pm 0,1	42,2 \pm 11,7	3,08 \pm 0,02	1,00 \pm 0,36
A cuenta Grado 2	1,98 \pm 0,09	7,98 \pm 0,19	15,1 \pm 0,02	42,2 \pm 0,08	1,58 \pm 0,03	3,98 \pm 0,27
Aruba Grado 2	2,52 \pm 0,08	11,8 \pm 0,3	17,7 \pm 0,2	42,2 \pm 0,2	4,90 \pm 0,07	11,1 \pm 0,3
Carozzi Pregraneado	1,59 \pm 0,06	6,24 \pm 0,34	10,5 \pm 0,1	41,2 \pm 0,2	2,05 \pm 0,03	5,61 \pm 0,43
Tucapel espinaca	1,55 \pm 0,11	9,19 \pm 0,34	15,1 \pm 0,3	81,0 \pm 0,2	2,94 \pm 0,04	37,3 \pm 0,2
Tucapel tomate	1,92 \pm 0,34	9,65 \pm 0,41	12,4 \pm 0,1	58,0 \pm 0,3	3,21 \pm 0,03	11,0 \pm 0,1
Tucapel pollo	1,56 \pm 0,02	8,26 \pm 0,38	12,5 \pm 0,2	56,0 \pm 0,1	3,84 \pm 0,05	17,4 \pm 0,3
Miraflores Grado 2	1,83 \pm 0,04	10,1 \pm 0,4	16,3 \pm 0,2	38,0 \pm 0,2	3,08 \pm 0,01	8,08 \pm 0,52
Tucapel Grado 1	2,58 \pm 0,11	7,42 \pm 0,41	17,5 \pm 0,1	37,2 \pm 10,4	1,78 \pm 0,02	16,4 \pm 0,3
Campo Lindo	1,81 \pm 0,05	6,98 \pm 0,30	9,67 \pm 0,07	18,2 \pm 0,05	1,99 \pm 0,01	25,5 \pm 0,4
Banquete Premium	1,93 \pm 0,03	9,02 \pm 0,49	18,3 \pm 0,1	37,5 \pm 0,3	2,49 \pm 0,03	3,08 \pm 0,23
Líder Premium	1,69 \pm 0,05	10,5 \pm 0,3	17,5 \pm 0,2	43,4 \pm 0,1	3,05 \pm 0,02	2,11 \pm 0,15
Banquete Pregraneado	1,82 \pm 0,04	6,53 \pm 0,31	9,22 \pm 0,1	21,6 \pm 0,2	1,96 \pm 0,02	5,60 \pm 0,38
Aruba Grado 1	2,23 \pm 0,09	8,34 \pm 0,46	19,2 \pm 0,2	37,2 \pm 25,8	2,86 \pm 0,07	7,21 \pm 0,30
Bonanza Grado 1	1,65 \pm 0,03	10,0 \pm 0,2	11,5 \pm 0,1	46,0 \pm 0,2	2,93 \pm 0,05	7,39 \pm 0,07
Los chinos Grado 2	2,13 \pm 0,07	10,1 \pm 0,3	11,6 \pm 0,05	45,0 \pm 0,04	1,83 \pm 0,05	12,2 \pm 0,2
Los chinos Grado 1	3,00 \pm 0,13	8,40 \pm 0,26	7,68 \pm 0,12	15,3 \pm 0,1	1,60 \pm 0,01	6,91 \pm 0,81
Loncomilla Sopa	2,09 \pm 0,08	12,8 \pm 0,6	15,0 \pm 0,2	43,5 \pm 0,09	3,38 \pm 0,05	3,56 \pm 0,22
Zaror Pregraneado	1,61 \pm 0,04	7,34 \pm 0,31	6,93 \pm 0,13	15,7 \pm 0,1	3,08 \pm 0,01	9,07 \pm 0,11
Lodigiano	2,60 \pm 0,11	7,28 \pm 0,37	19,1 \pm 0,2	47,3 \pm 0,05	3,62 \pm 0,01	2,58 \pm 0,47

Gráfico N°1.1: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Cobre (Cu) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).

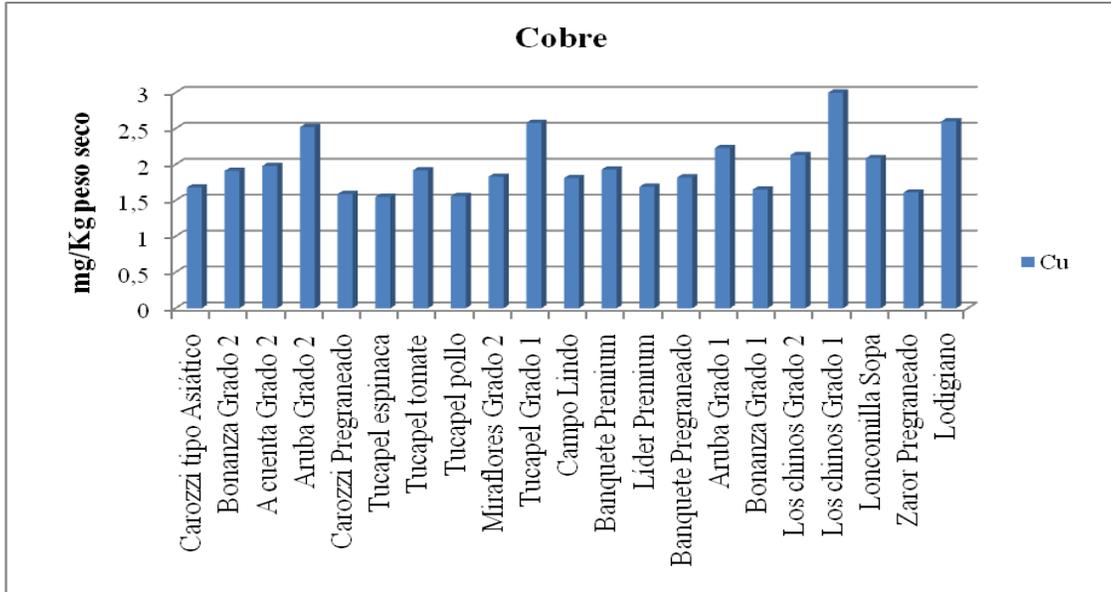


Gráfico N°1.2: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Manganeseo (Mn) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).

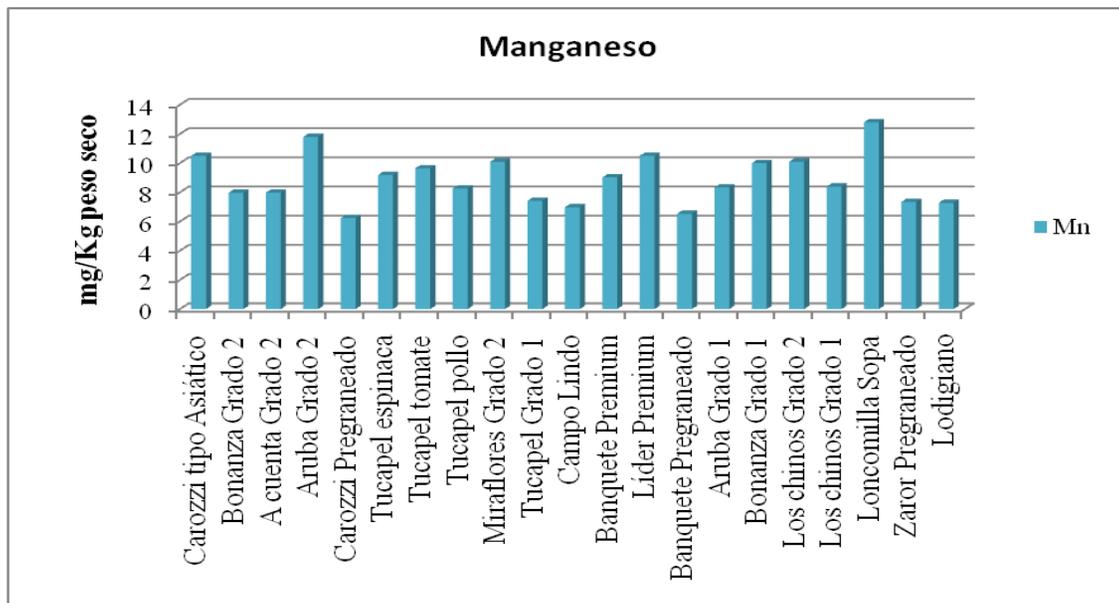
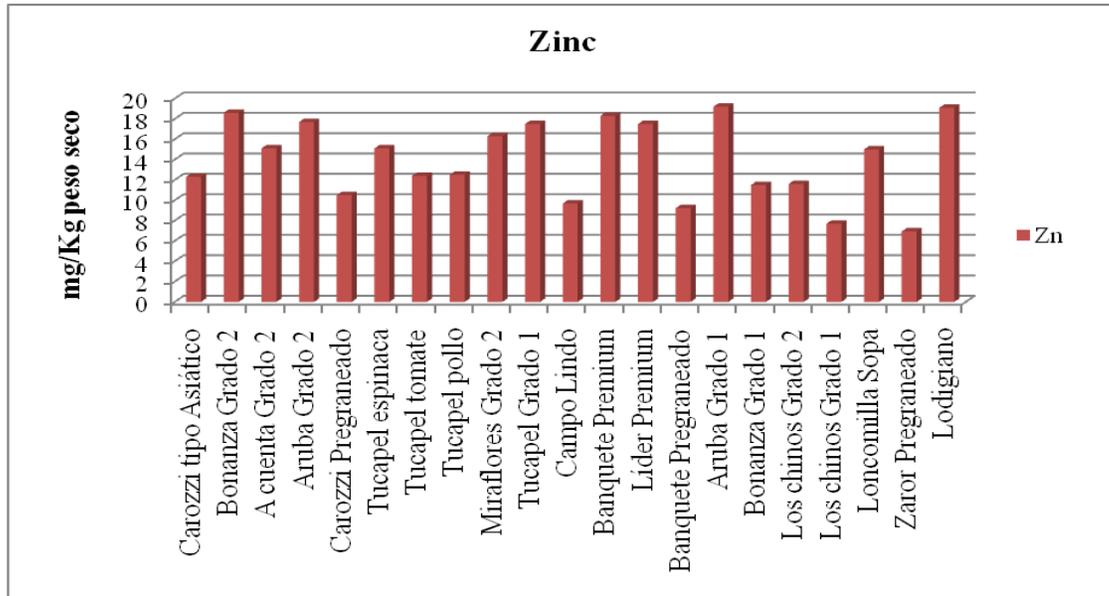


Gráfico N°1.3: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Zinc (Zn) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).



N°1.4: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Zinc (Zn) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).

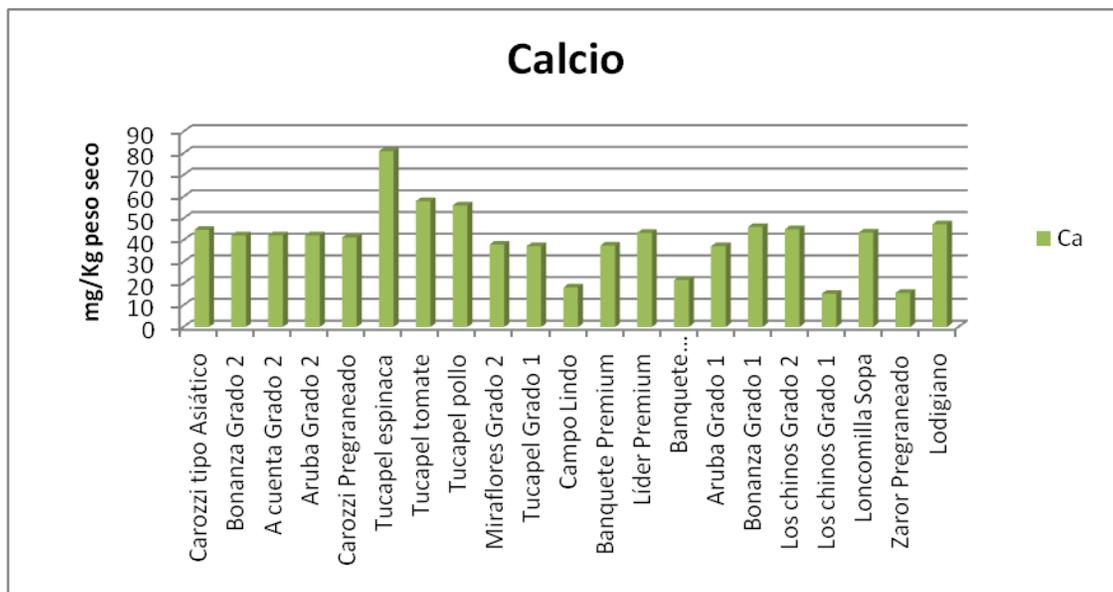


Gráfico N°1.5: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Magnesio (Mg) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).

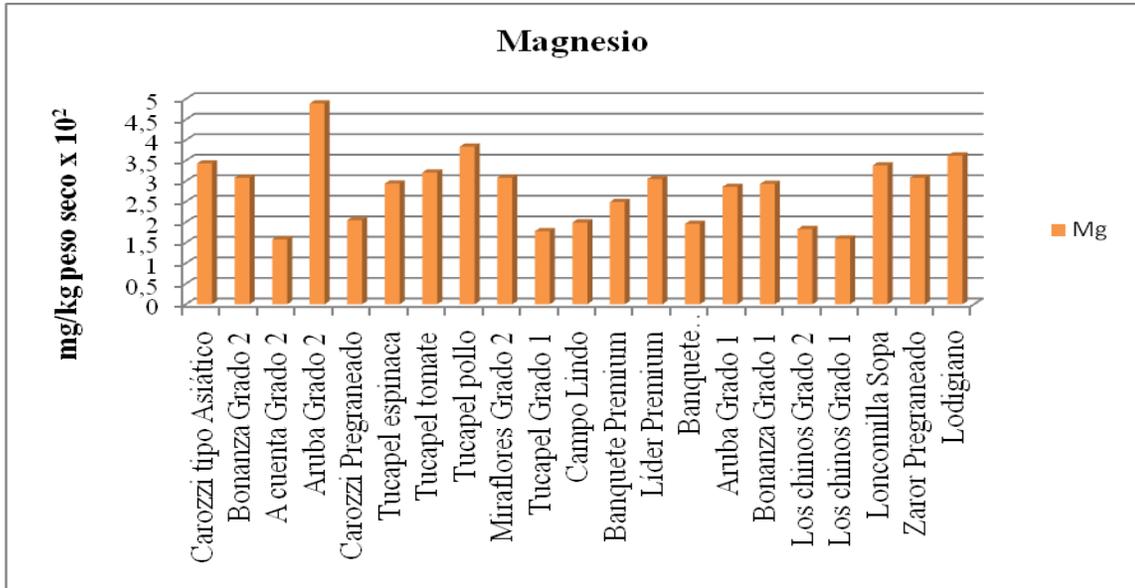


Gráfico N°1.6: Concentración en mg kg^{-1} peso seco, del elemento Hierro (Fe) en las distintas marcas de arroz (*Oryza sativa*).

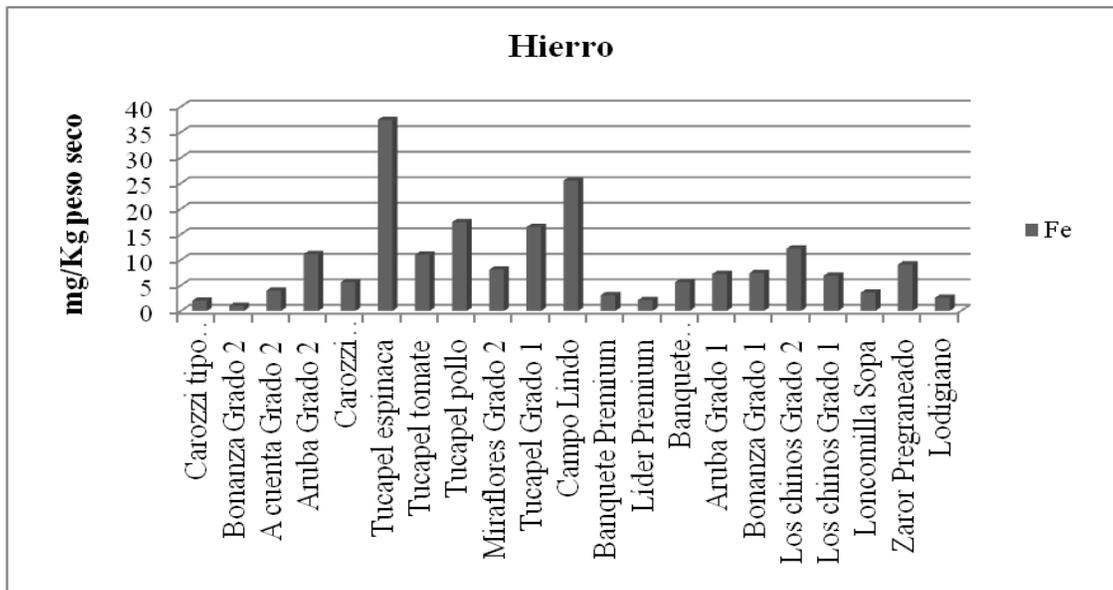


Tabla y Gráfico N°2: Concentración de elementos traza esenciales (mg kg^{-1} peso seco) y su DE (desviación estándar) en dos marcas de trigo mote (*Triticum aestivum*).

Metales (mg kg^{-1} peso seco)						
Marca	Cu \pm DE	Mn \pm DE	Zn \pm DE	Ca $\times 10^{-2}$ \pm DE	Mg $\times 10^{-2}$ \pm DE	Fe \pm DE
Trigo mote granel	2,66 \pm 0,14	11,7 \pm 0,9	13,2 \pm 0,1	2,35 \pm 0,01	7,45 \pm 0,05	24,4 \pm 1,2
Trigo mote farema	2,78 \pm 0,13	10,9 \pm 0,2	15,3 \pm 0,1	4,09 \pm 0,02	10,9 \pm 0,04	26,7 \pm 0,4

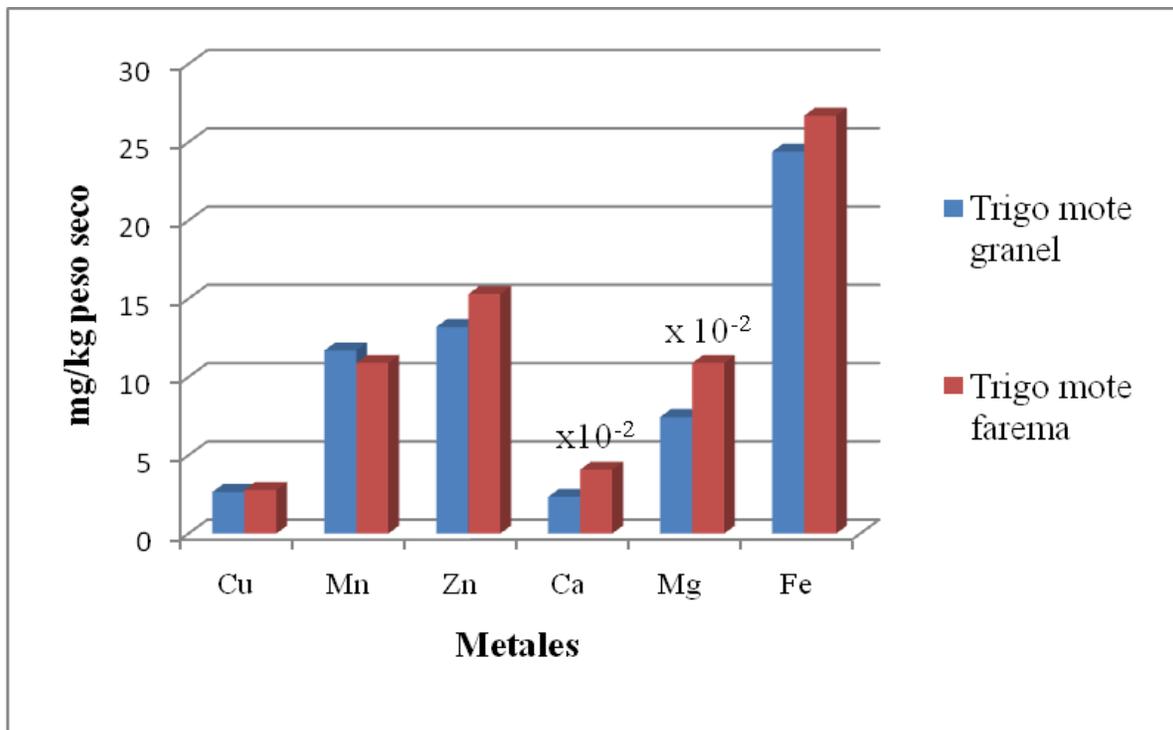


Tabla N°3: Concentración de elementos traza no esenciales (mg kg^{-1} peso seco); Plomo, Mercurio y Cadmio en diferentes marcas de arroz (*Oryza Sativa*).

(<) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

Metales (mg kg^{-1} peso seco)			
Marca	Pb	Hg	Cd
Carozzi tipo Asiático	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Bonanza Grado 2	< 0,97	< 0,001	< 0,15
A cuenta Grado 2	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Aruba Grado 2	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Carozzi Pregraneado	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Tucapel espinaca	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Tucapel tomate	< 0,97	0,02	< 0,15
Tucapel pollo	< 0,97	0,03	< 0,15
Miraflores Grado 2	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Tucapel Grado 1	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Campo Lindo	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Banquete Premium	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Líder Premium	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Banquete Pregraneado	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Aruba Grado 1	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Bonanza Grado 1	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Los chinos Grado 2	< 0,97	0,03	< 0,15
Los chinos Grado 1	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Loncomilla Sopa	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Zaror Pregraneado	< 0,97	< 0,001	< 0,15
Lodigiano	< 0,97	< 0,001	0,27

Tabla N°4: Concentración en (mg kg^{-1} peso seco) de Arsénico y su DE (desviación estándar) en diferentes marcas de arroz (*Oryza sativa*).

Metal (mg kg^{-1} peso seco)	
Marca	As\pmDE
Carozzi tipo Asiático	0,32 \pm 0,004
Bonanza Grado 2	0,29 \pm 0,008
A cuenta Grado 2	0,20 \pm 0,006
Aruba Grado 2	0,24 \pm 0,010
Carozzi Pregraneado	0,30 \pm 0,010
Tucapel espinaca	0,98 \pm 0,022
Tucapel tomate	0,56 \pm 0,005
Tucapel pollo	0,64 \pm 0,005
Miraflores Grado 2	0,41 \pm 0,007
Tucapel Grado 1	0,43 \pm 0,014
Campo Lindo	0,41 \pm 0,014
Banquete Premium	0,19 \pm 0,003
Líder Premium	0,08 \pm 0,004
Banquete Pregraneado	0,13 \pm 0,018
Aruba Grado 1	0,12 \pm 0,007
Bonanza Grado 1	0,23 \pm 0,003
Los chinos Grado 2	0,12 \pm 0,006
Los chinos Grado 1	0,19 \pm 0,006
Loncomilla Sopa	0,15 \pm 0,003
Zaror Pregraneado	0,12 \pm 0,003
Lodigiano	0,24 \pm 0,009

Gráfico N°4.1: Concentración (mg kg⁻¹ peso seco) de Arsénico en diferentes marcas de arroz (*Oryza sativa*) y el límite máximo permitido en L.Ch. (Legislación Chilena).

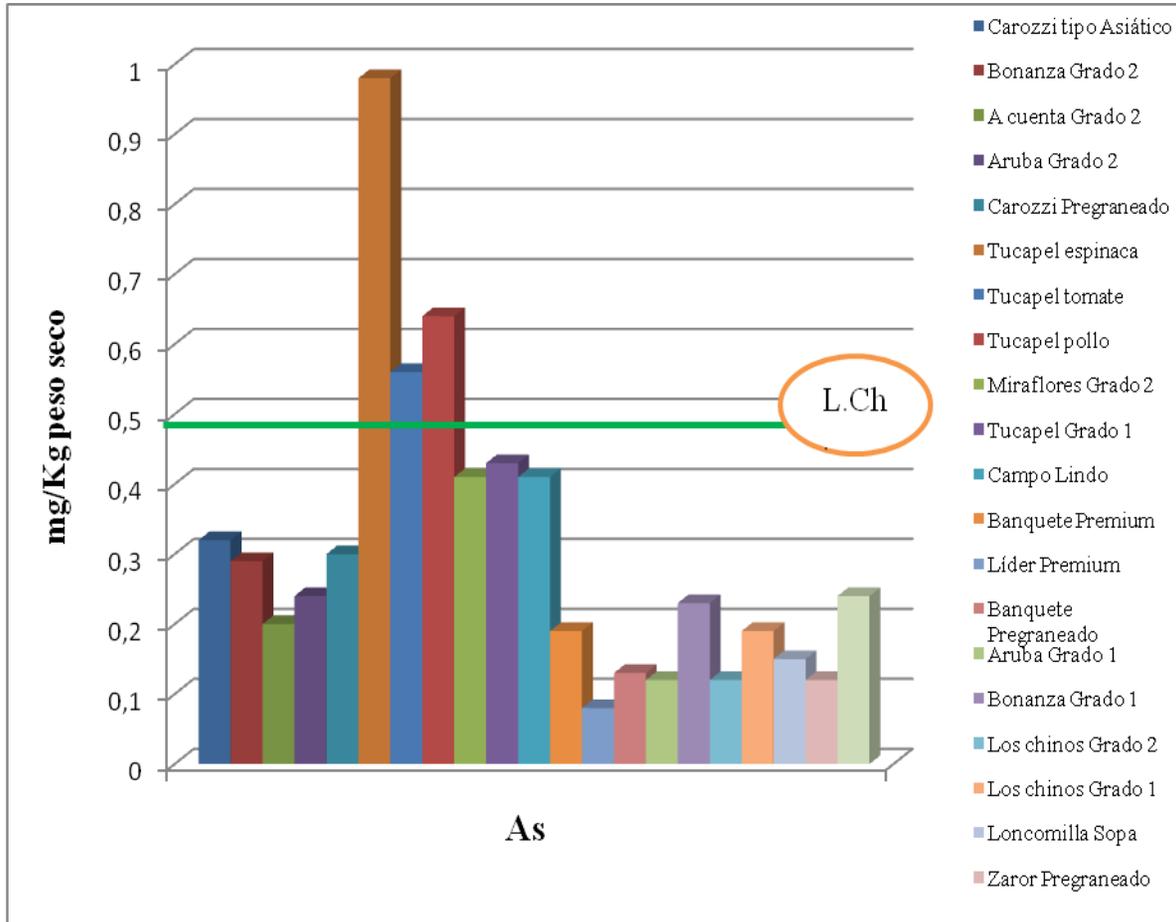


Tabla N°5: Concentración de elementos traza no esenciales (mg kg^{-1} peso seco) en dos marcas de trigo mote (*Triticum aestivum*).

(<) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

Metales (mg kg^{-1} peso seco)				
Marca	Pb	Hg	Cd	As
Trigo mote granel	< 1,94	< 0,002	0,58	< 0,04
Trigo mote farema	< 1,94	< 0,002	<0,31	< 0,04

Tabla y Gráfico N°6: Concentración de Mercurio (Hg) en mg kg^{-1} peso seco en las distintas muestras de arroz (*Oryza sativa*), según el país de origen.

Muestras de arroz						
Mercurio (mg kg^{-1} peso seco)						
Origen	Argentino	Chileno	Chino	Italiano	Tailandés	Uruguayo
Concentración	0,03	0,02	*	*	*	*

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

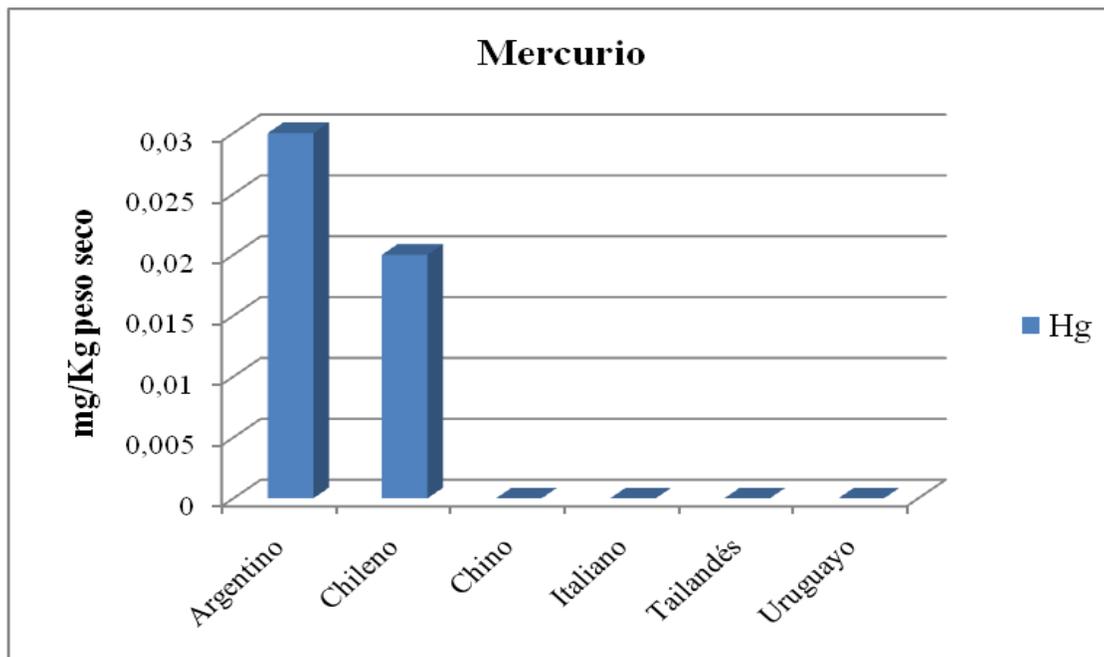


Tabla y Gráfico N°7: Concentración de Cadmio (Cd) en mg kg^{-1} peso seco en las distintas muestras de arroz (*Oryza sativa*), según el país de origen.

Muestras de arroz						
Cadmio (mg kg^{-1} peso seco)						
Origen	Argentino	Chileno	Chino	Italiano	Tailandés	Uruguayo
Concentración	*	*	*	0,27	*	*

(*) Valores bajo el límite de cuantificación del equipo.

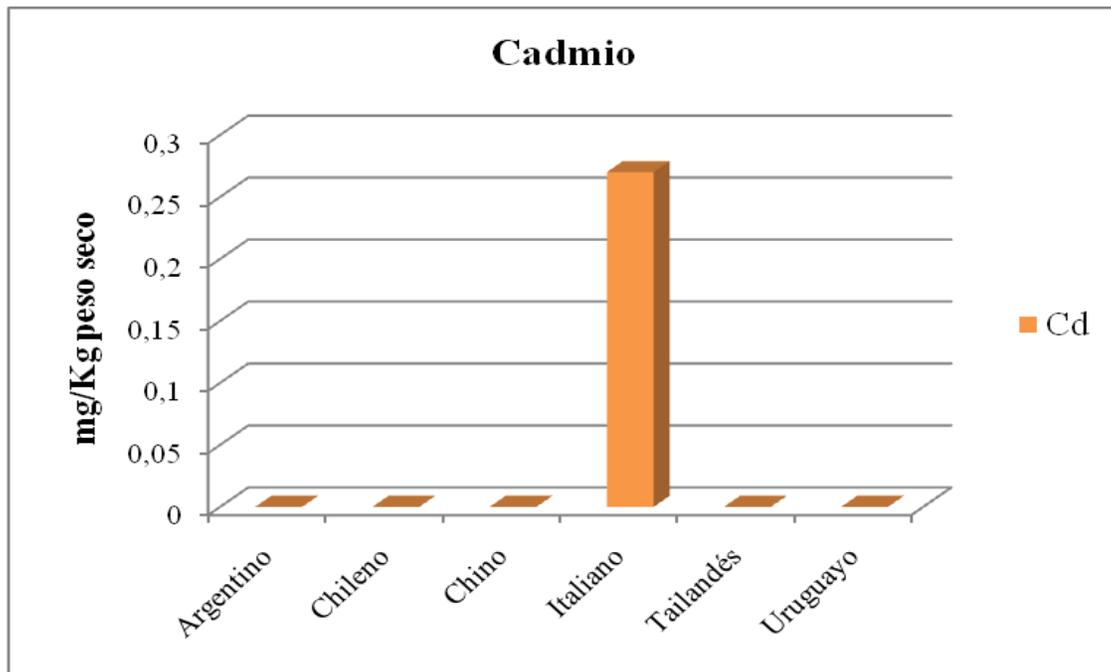


Tabla y Gráfico N°8: Concentración de Arsénico (As) en mg kg^{-1} peso seco en las distintas muestras de arroz (*Oryza sativa*), según el país de origen.

Muestras de arroz						
Arsénico (mg kg^{-1} peso seco)						
Origen	Argentino	Chileno	Chino	Italiano	Tailandés	Uruguayo
Concentración	0,23	0,43	0,21	0,24	0,23	0,14

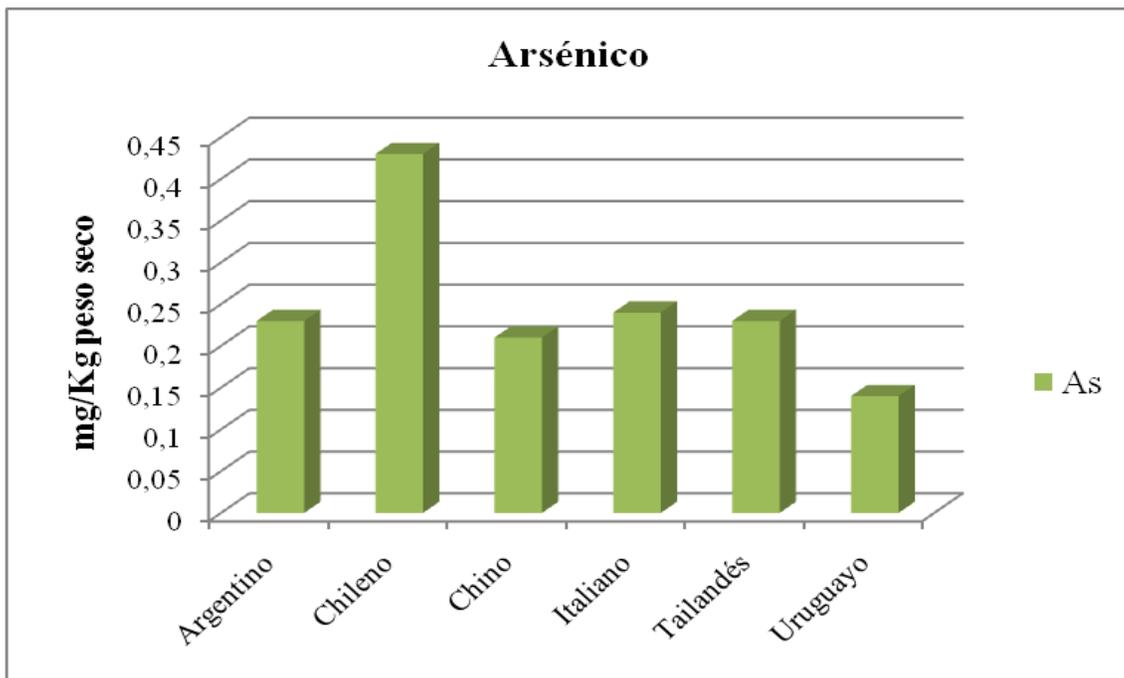


Tabla N°9: Elementos traza y sus concentraciones promedio, mínima y máxima en arroz (*Oryza sativa*) comercializados en Valdivia - Chile.

mg kg ⁻¹ peso seco			
Elemento	Concentración Promedio	Concentración Mínima	Concentración Máxima
Plomo (Pb)	*	*	*
Mercurio (Hg)	0,004	*	0,03
Cadmio (Cd)	0,01	*	0,27
Arsénico (As)	0,30	0,08	0,98
Cobre (Cu)	1,98	1,55	3,00
Manganeso (Mn)	8,87	6,24	12,8
Zinc (Zn)	14,0	6,93	19,2
Calcio (Ca)	40,6	15,3	81,0
Magnesio (Mg)	279	158	490
Hierro (Fe)	9,48	1,00	37,3

(*) Menor al límite de cuantificación del equipo.

Tabla N°10: Elementos traza y sus concentraciones promedio, mínima y máxima en trigo mote (*Triticum aestivum*) comercializados en Valdivia - Chile.

mg kg ⁻¹ peso seco			
Elemento	Concentración Promedio	Concentración Mínima	Concentración Máxima
Plomo (Pb)	*	*	*
Mercurio (Hg)	*	*	*
Cadmio (Cd)	0,29	*	0,58
Arsénico (As)	*	*	*
Cobre (Cu)	2,72	2,66	2,78
Manganeso (Mn)	11,3	10,9	11,7
Zinc (Zn)	14,2	13,2	15,3
Calcio (Ca)	322	235	409
Magnesio (Mg)	919	746	1091
Hierro (Fe)	25,6	24,4	26,7

(*) Menor al límite de cuantificación del equipo.

Tabla N°11: Concentración promedio (X), Desviación Estándar (DE), Coeficiente de Variación (CV), Mediana, Máximo y Mínimo de los elementos traza (mg/kg) en las muestras de arroz (*Oryza sativa*).

Muestras de Arroz (n=21)						
Estadística						
Metal	X	DE	CV	Mediana	Máximo	Mínimo
Plomo	---	---	---	---	---	---
Mercurio	---	---	---	---	---	---
Cadmio	---	---	---	---	---	---
Arsénico	0,30	0,21	70,0	0,24	0,98	0,08
Cobre	1,98	0,39	19,7	1,91	3,00	1,55
Manganeso	8,87	1,68	18,9	8,40	12,8	6,24
Zinc	14,0	3,80	27,1	15,0	19,2	6,93
Calcio	40,6	14,5	35,7	42,2	80,6	15,3
Magnesio	280	82,5	29,5	294	490	158
Fierro	9,48	8,47	90,4	7,21	37,4	1,00

Tabla y Gráfico N°12: Comparación del promedio de los niveles de elementos traza esenciales de este estudio con otros análisis hechos a granos de arroz (*Oryza sativa*).

Estudios en arroz				
Metales (mg/kg)	Este Estudio	Wolnik <i>et al</i> (1985)	Jiang <i>et al</i> (2007)	Parengam <i>et al</i> (2010)
Cobre	1,98	1,90	9,96	---
Manganeso	8,87	12,0	10,7	19,7
Zinc	14,0	14,0	26,0	20,7
Calcio	40,6	47,0	119	---
Magnesio	279	235	195	---
Hierro	9,48	3,60	5,40	5,44

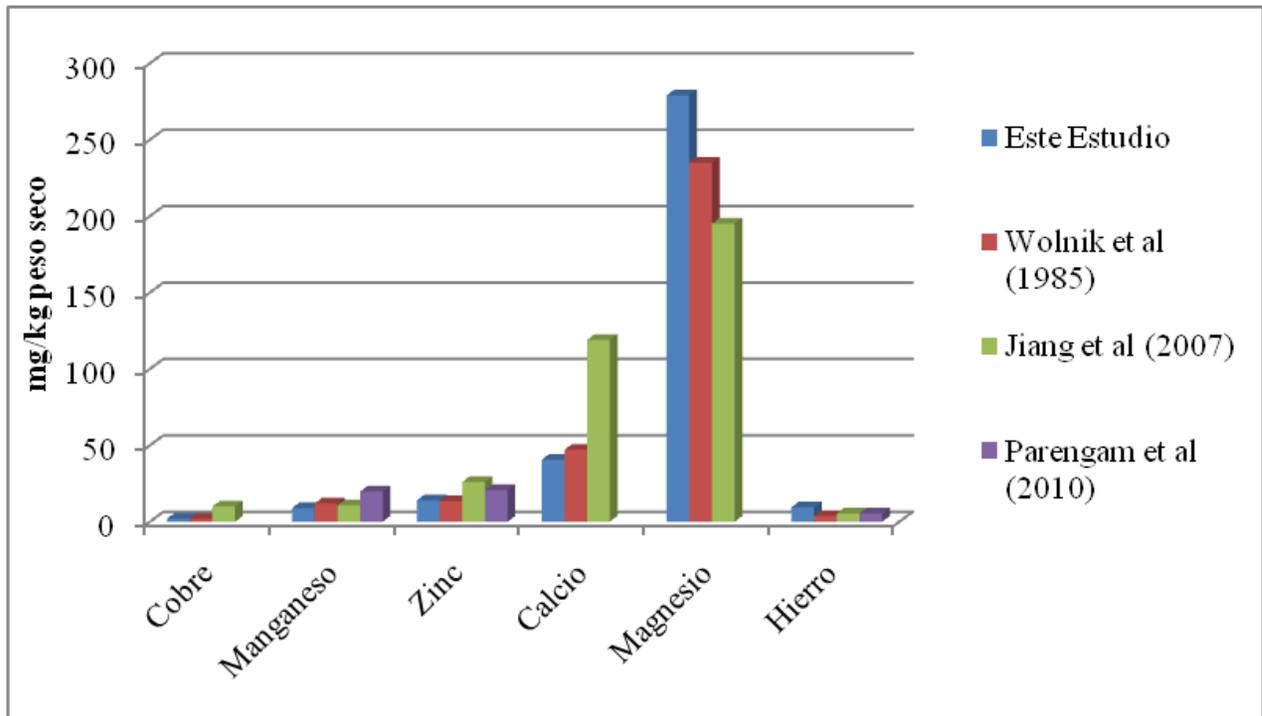


Tabla y Gráfico N°13: Comparación del promedio de los niveles de elementos traza esenciales del arroz (*Oryza sativa*) de este estudio con los valores entregados en la Tabla de composición de los alimentos.

Metales (mg/kg)	Este Estudio	Tabla de composición de los alimentos
Cobre	1,98	2,4
Manganeso	8,87	11
Zinc	14,0	14
Calcio	40,6	250
Magnesio	279	1550
Hierro	9,48	26

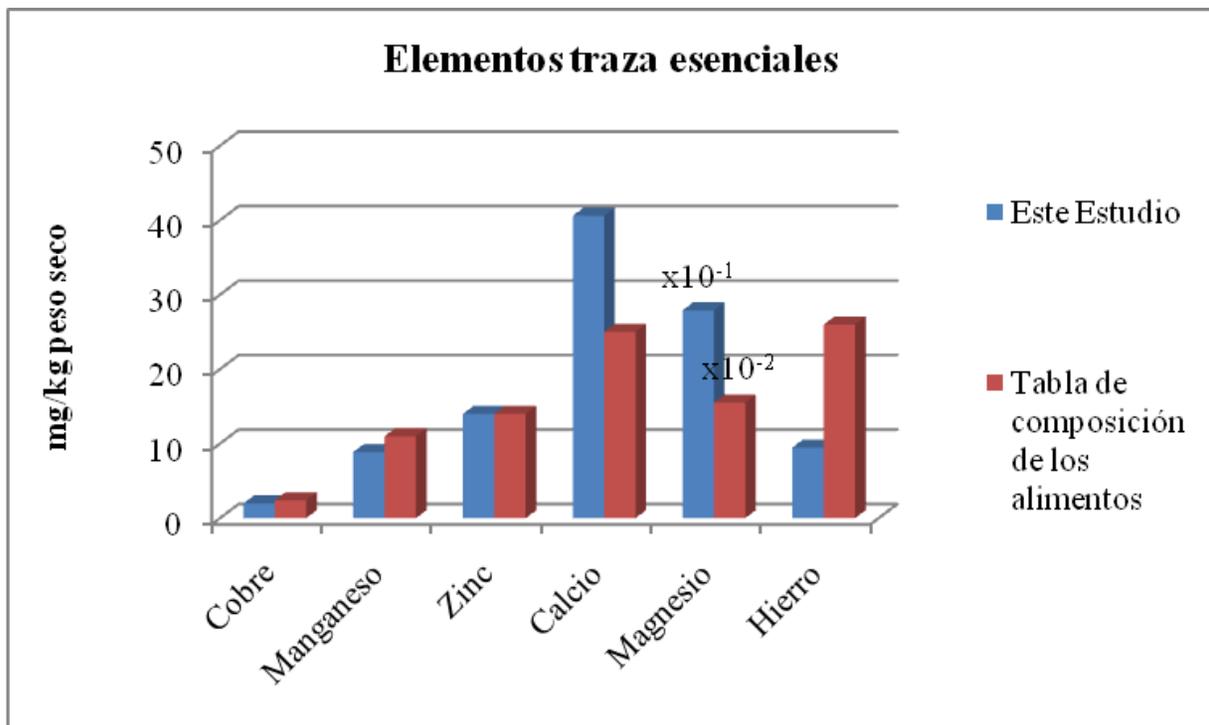


Tabla y Gráfico N°14: Comparación del promedio de los niveles de elementos traza esenciales de este estudio con otros análisis hechos a granos de trigo (*Triticum aestivum*).

Estudios en trigo		
Metales (mg/kg)	Este Estudio	Skrbic et al (2005)
Cobre	2,72	5,30
Manganeso	11,3	50,9
Zinc	14,2	33,2
Calcio	322	---
Magnesio	919	---
Hierro	25,6	80,7

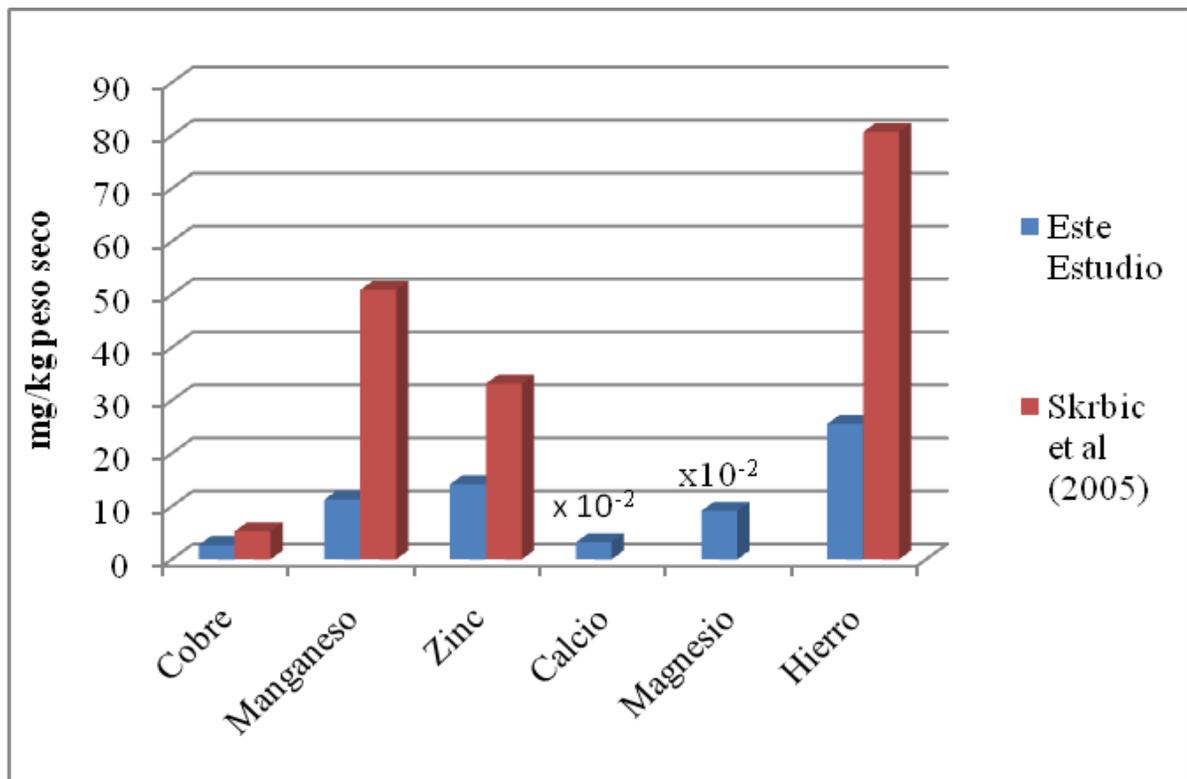


Tabla y Gráfico N°15: Comparación del promedio de los niveles de elementos traza esenciales del trigo mote (*Triticum aestivum*) de este estudio con los valores entregados en la Tabla de composición de los alimentos.

Metales (mg/kg)	Este Estudio	Tabla de composición de los alimentos
Cobre	2,72	6,3
Manganeso	11,3	30
Zinc	14,2	40
Calcio	322	450
Magnesio	919	1450
Hierro	25,6	30

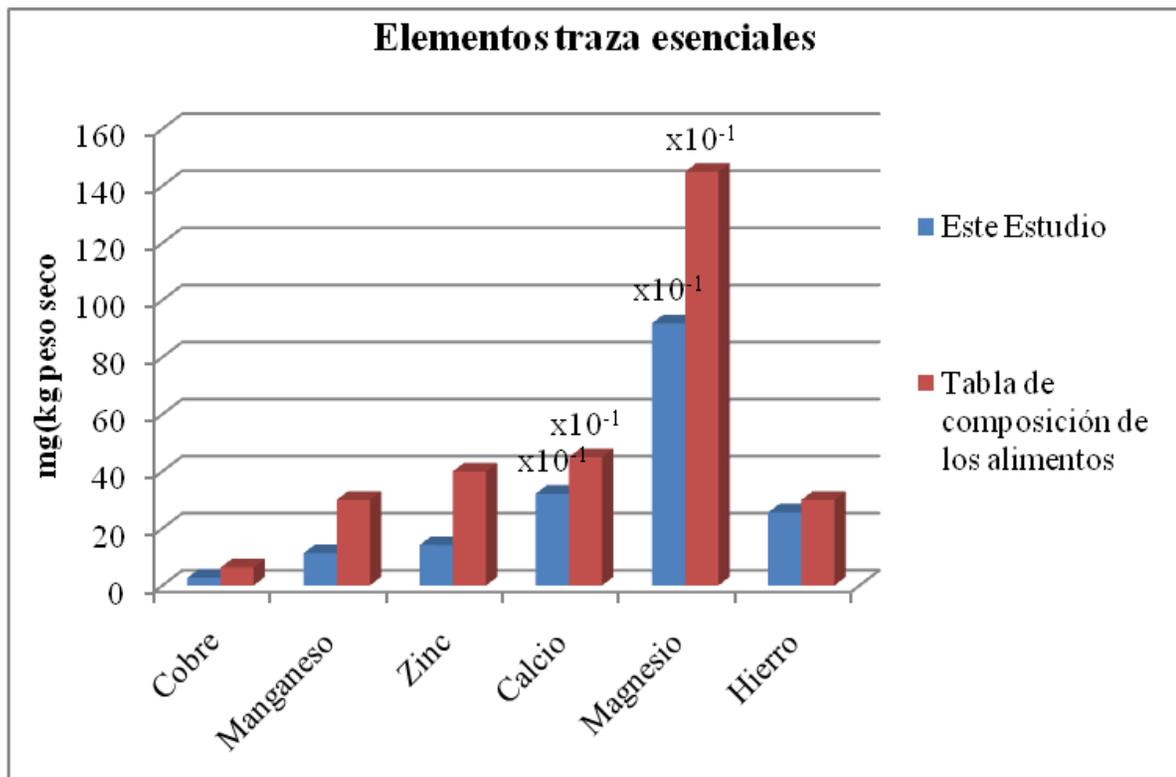


Tabla y Gráfico N° 16: Comparación de los niveles promedio de Plomo de este estudio con otros análisis hechos a cereales.

Plomo (Pb) mg kg ⁻¹										
Alimento	Este estudio	Jorhem et al (2008)	Wolnik et al (1985)	Zavala et al (2008)	Laparra et al (2005)	Parengam et al (2010)	Skrbic et al (2005)	Liu et al (2007)	Unión Europea	Legislación Chilena
Arroz	*	0,004	0,007	---	---	---	---	0,53	0,20	0,50
Trigo	*	---	---	---	---	---	0,37	----	0,20	0,50

(*) Menor al límite de cuantificación del equipo (Para arroz: < 0,97; Para trigo mote: < 1,94)

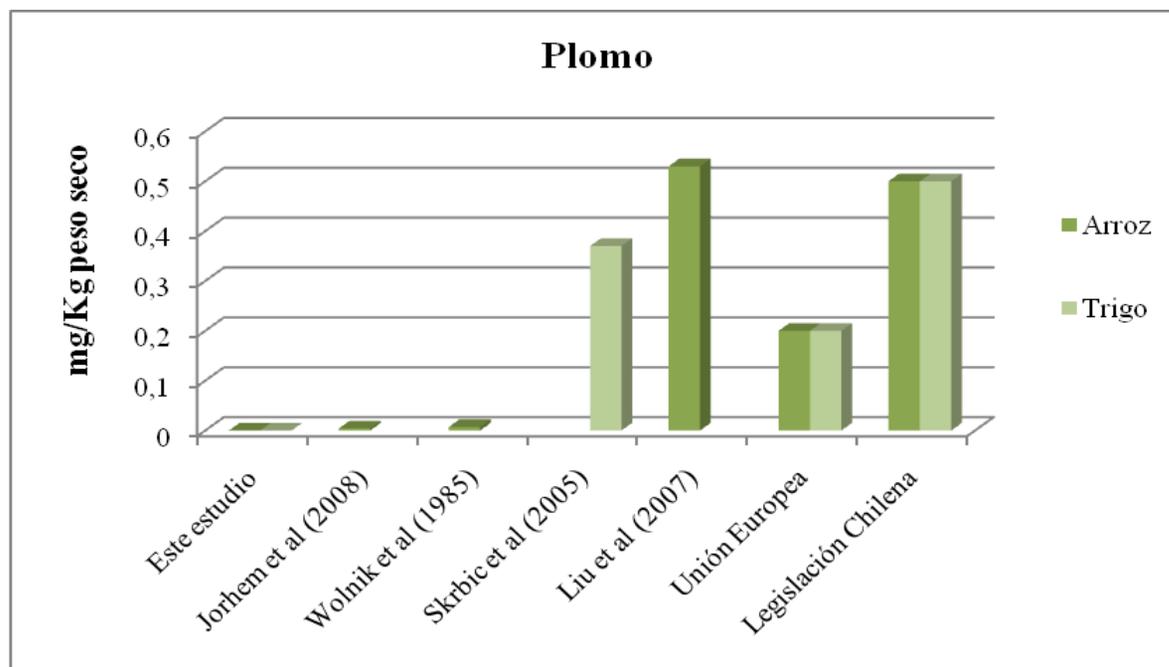


Tabla y Gráfico N° 17: Comparación de los niveles promedio de Mercurio de este estudio con otros análisis hechos a cereales.

Mercurio (Hg) mg kg ⁻¹										
Alimento	Este estudio	Jorhem et al (2008)	Wolnik et al (1985)	Zavala et al (2008)	Laparra et al (2005)	Parengam et al (2010)	Skrbic et al (2005)	Liu et al (2007)	Unión Europea	Legislación Chilena
Arroz	0,004	---	---	---	---	0,19	---	0,03	Sin datos	0,05
Trigo	*	---	---	---	---	---	0,01	---	Sin datos	0,05

(*) Menor al límite de cuantificación del equipo (Para trigo: < 0,002)

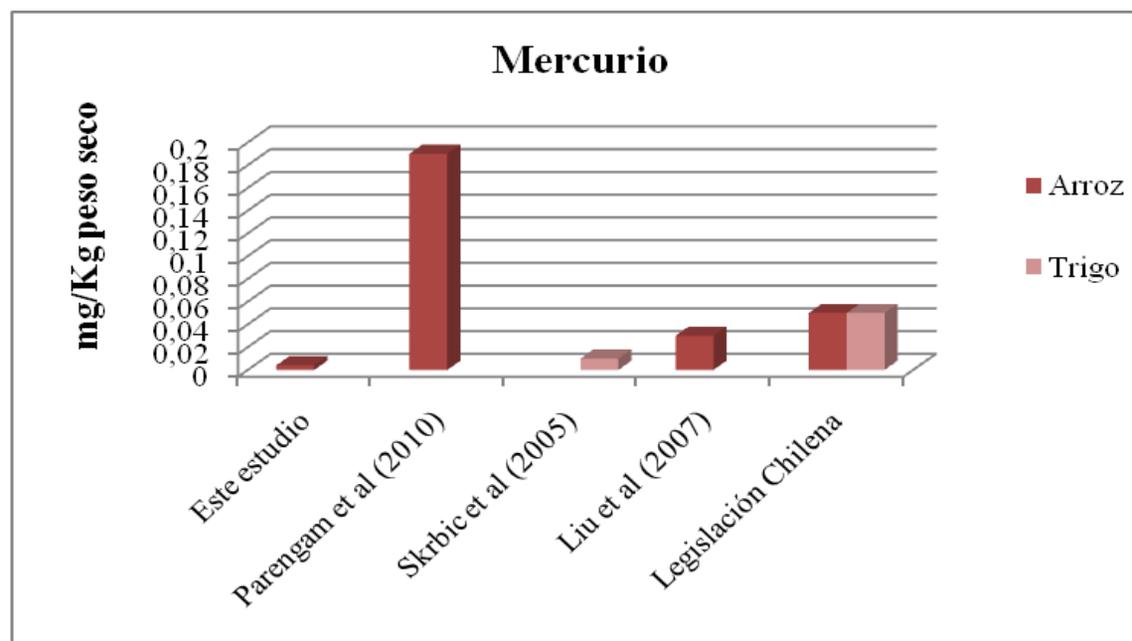


Tabla y Gráfico N° 18: Comparación de los niveles promedio de Cadmio de este estudio con otros análisis hechos a cereales.

Cadmio (Cd) mg kg ⁻¹											
Alimento	Este estudio	Jorhem et al (2008)	Wolnik et al (1985)	Zavala et al (2008)	Laparra et al (2005)	Parengam et al (2010)	Skrbic et al (2005)	Liu et al (2007)	Unión Europea	Legislación Chilena	Codex general
Arroz	0,01	0,024	0,012	---	---	---	---	0,016	0,20	Sin datos	0,4
Trigo	0,29	---	---	---	---	---	0,04	---	0,20	Sin datos	0,2

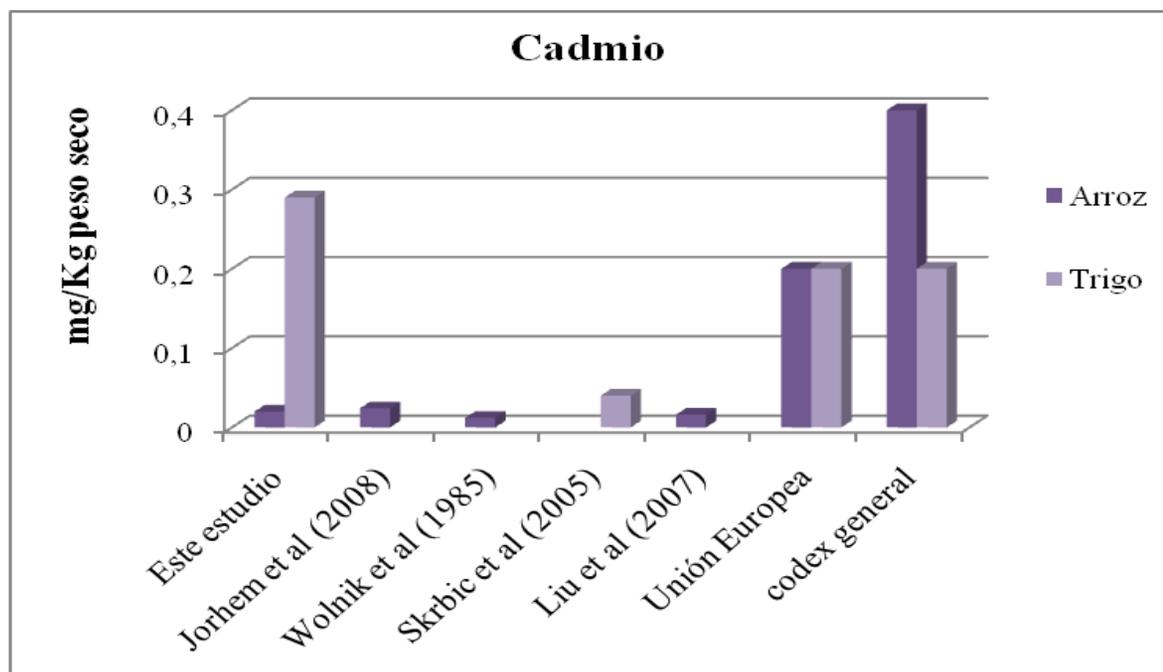


Tabla y Gráfico N° 19: Comparación de los niveles promedio de Arsénico de este estudio con otros análisis hechos a cereales.

Arsénico (As) mg kg ⁻¹										
Alimento	Este estudio	Jorhem et al (2008)	Wolnik et al (1985)	Zavala et al (2008)	Laparra et al (2005)	Parengam et al (2010)	Skrbic et al (2005)	Liu et al (2007)	Unión Europea	Legislación Chilena
Arroz	0,30	0,20	---	0,26	0,35	0,28	---	0,10	Sin datos	0,5
Trigo	*	---	---	---	---	---	0,08	---	Sin datos	0,5

(*) Menor al límite de cuantificación del equipo (Para trigo: < 0,04)

